

PAT-NO: JP02000068508A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2000068508 A

TITLE: CHARACTERISTIC EVALUATING METHOD AND
DEVICE OF INSULATED GATE TRANSISTOR, MANUFACTURE THERE OF
AND READING COMPUTER WHEREIN CHACTERISTIC
EVALUATING PROGRAM IS RECORDED.

PUBN-DATE: March 3, 2000

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
YAMAGUCHI, KENJI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MITSUBISHI ELECTRIC CORP	N/A

APPL-NO: JP10239148

APPL-DATE: August 25, 1998

INT-CL (IPC): H01L029/78, H01L021/336 , H01L021/66 ,
H01L021/8234
 , H01L027/088

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve extraction accuracy of
an effective channel
width in a drain current method.

SOLUTION: A transistor having the wide channel width as

a reference and a transistor having the narrow channel width as the extracting object for the effective channel width are prepared (step ST1.1). From the mask-channel width and the characteristic curve of the conductance plane between a source and a drain, the imaginary point where the change of the conductance between the source and the drain is estimated as approximately 0 even if gate over-drive is finely changed, is extracted. The value of the function F , which is determined by the difference between the rate of the conductance change in the coordinates of the imaginary point and the product obtained by multiplying the conductance per unit width by the changing rate of the mask-channel width, is computed. (step ST1.6). From the shifting amount δ , where the standard deviation of the function F obtained in a step ST 1.7 becomes minimum, the true threshold of the transistor having the narrow channel width is determined (step ST 1.10).

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

DERWENT-ACC-NO: 2000-263202

DERWENT-WEEK: 200434

COPYRIGHT 2004 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Effective channel width determining
procedure of insulated gate type transistor,
involves determining difference in mask channel width and
effective channel width of transistors based on exact
threshold voltage

INVENTOR: YAMAGUCHI, K

PATENT-ASSIGNEE: MITSUBISHI ELECTRIC CORP[MITQ] ,
MITSUBISHI DENKI KK[MITQ] ,
RENESAS TECHNOLOGY CORP[RENEN]

PRIORITY-DATA: 1998JP-0239148 (August 25, 1998)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PAGES	PUB-DATE	MAIN-IPC
US 20040098681	A1	May 20, 2004	N/A
000	G06F 017/50		
JP 2000068508	A	March 3, 2000	N/A
046	H01L 029/78		
US 6169415	B1	January 2, 2001	N/A
000	G01R 031/26		
US 6373274	B1	April 16, 2002	N/A
000	G01R 031/26		
US 20020127749	A1	September 12, 2002	N/A
000	H01L 021/66		
US 20020130679	A1	September 19, 2002	N/A
000	G01R 031/26		
US 6559672	B2	May 6, 2003	N/A
000	G01R 031/26		
US 20030113946	A1	June 19, 2003	N/A
000	G01R 031/26		

US 6649430 B2	November 18, 2003	N/A
000 H01L 021/66		
US 6727724 B2	April 27, 2004	N/A
000 G01R 031/26		

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
APPL-DATE		
US20040098681A1	Cont of	1999US-
0249139	February 12, 1999	
US20040098681A1	Cont of	2000US-
0714148	November 17, 2000	
US20040098681A1	Div ex	2002US-
0093933	March 11, 2002	
US20040098681A1	N/A	2003US-
0702455	November 7, 2003	
US20040098681A1	Cont of	US 6169415
N/A		
US20040098681A1	Cont of	US 6373274
N/A		
JP2000068508A	N/A	1998JP-
0239148	August 25, 1998	
US 6169415B1	N/A	1999US-
0249139	February 12, 1999	
US 6373274B1	Cont of	1999US-
0249139	February 12, 1999	
US 6373274B1	N/A	2000US-
0714148	November 17, 2000	
US 6373274B1	Cont of	US 6169415
N/A		
US20020127749A1	Cont of	1999US-
0249139	February 12, 1999	
US20020127749A1	Cont of	2000US-
0714148	November 17, 2000	
US20020127749A1	N/A	2002US-
0093936	March 11, 2002	
US20020127749A1	Cont of	US 6169415
N/A		
US20020127749A1	Cont of	US 6373274
N/A		
US20020130679A1	Cont of	1999US-
0249139	February 12, 1999	
US20020130679A1	Cont of	2000US-

0714148	November 17, 2000	
US20020130679A1	N/A	2002US-
0093933	March 11, 2002	
US20020130679A1	Cont of	US 6169415
N/A		
US20020130679A1	Cont of	US 6373274
N/A		
US 6559672B2	Cont of	1999US-
0249139	February 12, 1999	
US 6559672B2	Div ex	2000US-
0714148	November 17, 2000	
US 6559672B2	N/A	2002US-
0093936	March 11, 2002	
US 6559672B2	Cont of	US 6169415
N/A		
US 6559672B2	Div ex	US 6373274
N/A		
US20030113946A1	Cont of	1999US-
0249139	February 12, 1999	
US20030113946A1	Cont of	2000US-
0714148	November 17, 2000	
US20030113946A1	Div ex	2002US-
0093936	March 11, 2002	
US20030113946A1	N/A	2003US-
0350059	January 24, 2003	
US20030113946A1	Cont of	US 6169415
N/A		
US20030113946A1	Cont of	US 6373274
N/A		
US 6649430B2	Cont of	1999US-
0249139	February 12, 1999	
US 6649430B2	Cont of	2000US-
0714148	November 17, 2000	
US 6649430B2	Div ex	2002US-
0093936	March 11, 2002	
US 6649430B2	N/A	2003US-
0350059	January 24, 2003	
US 6649430B2	Cont of	US 6169415
N/A		
US 6649430B2	Cont of	US 6373274
N/A		
US 6649430B2	Div ex	US 6559672
N/A		

US 6727724B2	Cont of	1999US-
0249139	February 12, 1999	
US 6727724B2	Cont of	2000US-
0714148	November 17, 2000	
US 6727724B2	N/A	2002US-
0093933	March 11, 2002	
US 6727724B2	Cont of	US 6169415
N/A		
US 6727724B2	Cont of	US 6373274
N/A		

INT-CL (IPC): G01R031/26, G06F017/50 , H01L021/336 ,
H01L021/66 ,
H01L021/8234 , H01L027/088 , H01L029/78

ABSTRACTED-PUB-NO: JP2000068508A

BASIC-ABSTRACT:

NOVELTY - Characteristics curve on the relation of mask channel width of insulated gate transistors is drawn, keeping gate overdrive of both transistor to be equal. Curve inclination corresponding to change in gate overdrive is determined and exact threshold voltage is computed. Difference in mask and effective channel widths is computed based on the exact threshold voltage.

DETAILED DESCRIPTION - The difference in threshold voltage of a pair of insulated gate type transistors having different mask channel width is determined. The gate overdrive of each transistor is calculated based on the threshold voltage difference and gate voltage of transistor. INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following: effective channel width determining apparatus; program product for determining effective channel width

USE - Insulated gate type transistor.

ADVANTAGE - Effective channel width can be determined accurately and hence manufacturing period of insulated gate type transistor is reduced. DESCRIPTION

OF DRAWING(S) - The figure shows conceptual diagram of channel width calculation apparatus.

ABSTRACTED-PUB-NO: US 6169415B

EQUIVALENT-ABSTRACTS:

NOVELTY - Characteristics curve on the relation of mask channel width of insulated gate transistors is drawn, keeping gate overdrive of both transistor to be equal. Curve inclination corresponding to change in gate overdrive is determined and exact threshold voltage is computed. Difference in mask and effective channel widths is computed based on the exact threshold voltage.

DETAILED DESCRIPTION - The difference in threshold voltage of a pair of insulated gate type transistors having different mask channel width is determined. The gate overdrive of each transistor is calculated based on the threshold voltage difference and gate voltage of transistor. INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following: effective channel width determining apparatus; program product for determining effective channel width

USE - Insulated gate type transistor.

ADVANTAGE - Effective channel width can be determined accurately and hence manufacturing period of insulated gate type transistor is reduced. DESCRIPTION

OF DRAWING(S) - The figure shows conceptual diagram of channel width calculation apparatus.

US 6373274B

NOVELTY - Characteristics curve on the relation of mask channel width of insulated gate transistors is drawn, keeping gate overdrive of both transistor to be equal. Curve inclination corresponding to change in gate overdrive is determined and exact threshold voltage is computed. Difference in mask and effective channel widths is computed based on the exact threshold voltage.

DETAILED DESCRIPTION - The difference in threshold voltage of a pair of insulated gate type transistors having different mask channel width is determined. The gate overdrive of each transistor is calculated based on the threshold voltage difference and gate voltage of transistor. INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following: effective channel width determining apparatus; program product for determining effective channel width

USE - Insulated gate type transistor.

ADVANTAGE - Effective channel width can be determined accurately and hence manufacturing period of insulated gate type transistor is reduced. DESCRIPTION

OF DRAWING(S) - The figure shows conceptual diagram of channel width calculation apparatus.

US20020127749A

NOVELTY - Characteristics curve on the relation of mask channel width of

insulated gate transistors is drawn, keeping gate overdrive of both transistor to be equal. Curve inclination corresponding to change in gate overdrive is determined and exact threshold voltage is computed. Difference in mask and effective channel widths is computed based on the exact threshold voltage.

DETAILED DESCRIPTION - The difference in threshold voltage of a pair of insulated gate type transistors having different mask channel width is determined. The gate overdrive of each transistor is calculated based on the threshold voltage difference and gate voltage of transistor. INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following: effective channel width determining apparatus; program product for determining effective channel width

USE - Insulated gate type transistor.

ADVANTAGE - Effective channel width can be determined accurately and hence manufacturing period of insulated gate type transistor is reduced. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows conceptual diagram of channel width calculation apparatus.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.9/29

TITLE-TERMS: EFFECT CHANNEL WIDTH DETERMINE PROCEDURE
INSULATE GATE TYPE

TRANSISTOR DETERMINE DIFFER MASK CHANNEL WIDTH.
EFFECT CHANNEL WIDTH
TRANSISTOR BASED EXACT THRESHOLD VOLTAGE

DERWENT-CLASS: U11 U12 U13

EPI-CODES: U11-C18A3; U11-F01B1; U12-D02A; U13-D02;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N2000-196699

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 許出願公開番号

特開2000-68508

(P2000-68508A)

(43) 公開日 平成12年3月3日(2000.3.3)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
H 0 1 L 29/78		H 0 1 L 29/78	3 0 1 Z 4 M 1 0 6
21/336		21/66	Z 5 F 0 4 0
21/66		27/08	1 0 2 B 5 F 0 4 8
21/8234			
27/088			

審査請求 未請求 請求項の数42 O L (全 46 頁)

(21) 出願番号 特願平10-239148

(22) 出願日 平成10年8月25日(1998.8.25)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 山口 健司

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100089233

弁理士 吉田 茂明 (外2名)

Fターム(参考) 4M106 AA01 AB03 AB04 BA01 BA11

BA14 CA01 CA10 CA32

5F040 DA00 DB01 EA00

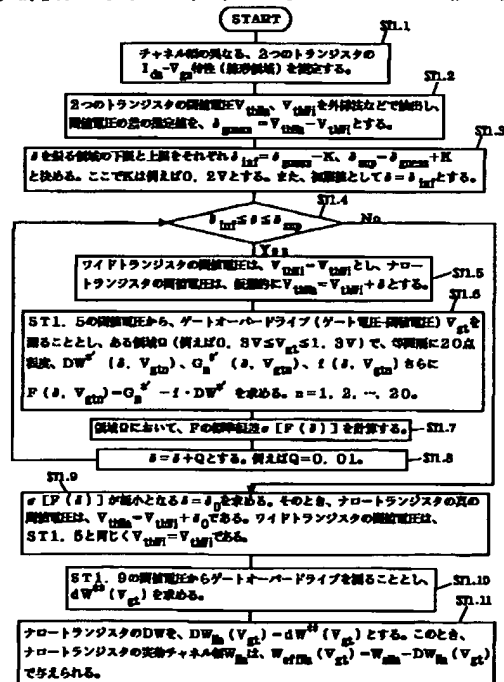
5F048 AA09 AC01 BB15 BD02

(54) 【発明の名称】 絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法、絶縁ゲート型トランジスタの製造方法、絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置、および特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取

(57) 【要約】

【課題】 ドレインカレント法において、実効チャネル幅の抽出確度を向上させることを目的とする。

【解決手段】 基準となるチャネル幅が広いトランジスタと、実効チャネル幅の抽出対象となるチャネル幅の狭いトランジスタとを準備する(ステップST1.1)。マスクチャネル幅-ソース・ドレイン間コンダクタンス平面の特性曲線から、ゲートオーバードライブを微小変化させてもソース・ドレイン間のコンダクタンスの変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出する。その仮想点の座標におけるコンダクタンスの変化の割合と単位幅当たりのコンダクタンスにマスクチャネル幅の変化の割合をかけて得られる積との差で定義される関数Fの値を計算する(ステップST1.6)。ステップST1.7で求める関数Fの標準偏差が最小となるシフト量δから、チャネル幅が狭い方のトランジスタの真の閾値電圧を決定する(ステップST1.10)。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a) マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタを準備するステップと、

(b) 前記少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定するとともに推定した当該閾値電圧の値を第1の推定値とするステップと、

(c) 前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出された前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したとき、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させてもY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とし、並びに前記仮想点における前記特性曲線の傾きを抽出するとともに抽出した当該傾きの値を第4の推定値とするステップと、

* (d) 前記ステップ(c)を、前記第1の推定値を変化させて繰り返し行うステップと、

(e) 前記ステップ(c)、(d)に係わる前記第2から第4の推定値の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求め、当該最適な第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定すると共に、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップと、

(f) 前記閾値電圧の真の値から前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するステップとを備える絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項2】 前記ステップ(e)では、前記特性曲線を、前記X-Y平面において、前記第1のゲートオーバードライブが第1の値のときに前記第1絶縁ゲート型トランジスタについて与えられる第1の点と、前記第2ゲートオーバードライブが前記第1の値の時に前記第2絶縁ゲート型トランジスタについて与えられる第2の点とを通る第1の直線で近似することとを特徴とする、請求項1記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項3】 前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

* 【数1】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) + \frac{f(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - DW^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるX切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

DW^* は前記仮想点のX座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項2記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項4】 前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第*

※2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【数2】

3

4

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{f^2(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - G_n^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるX切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

G_n^* は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項2記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項5】 前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第*

*2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【数3】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = G_n^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{f(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot G_n^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - G_n^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

G_n^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

G_n^* は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項2記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項6】 前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第*

*2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【数4】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{G_n^{**}(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} + DW^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

G_n^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、

DW^* は前記仮想点のX座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項2記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項7】 (a)マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタを準備するステップと、

★(b)前記少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタ

★50 に関する閾値電圧を推定して推定した値を第1の推定値

とするステップと、

(c) 前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出した前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したときに、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す第1の特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときにY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値、または前記第1の特性曲線のX切片の値を第2の推定値とするステップと、

(d) 前記ステップ(c)を、前記第1の推定値を変化させて繰り返し行うステップと、

(e) 前記ステップ(b)、(c)、(d)に係わる前記第1および第2の推定値の中から、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値に係わる値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値に係わる値との関係を示す第2の特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求め、当該最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップと、

(f) 前記閾値電圧の真の値から前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するステップとを備える絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項8】 前記ステップ(c)では、さらに、前記第1の特性曲線のX切片の値を第3の推定値とし、前記ステップ(e)では、前記第2の推定値に係わる値として、前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値を用いることを特徴とする、請求項7記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項9】 前記ステップ(e)では、前記所定の範囲において、前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値が最もよく一定値に収束するときの第1の推定値を最適な第1の推定値とすることを特徴とする、請求項8記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項10】 前記ステップ(f)は、前記ゲートオーバードライブが0Vの近傍のときに前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値から、前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定することを特徴とする、請求項1から請求項9のう

ちのいずれか一項に記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項11】 (a) マスクチャネル幅のみが互いに異なる第1および第2絶縁ゲート型トランジスタを準備するステップと、

(b) 前記マスクチャネル幅が広い前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記マスクチャネル幅が狭い前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定するとともに推定した当該閾値電圧の値を第1の推定値とするステップと、

(c) 前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出された前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したとき、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間抵抗をY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第1の点と前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第2の点とを通る直線上の点の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させてもY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とし、並びに前記仮想点における前記直線の傾きを抽出するとともに抽出した当該傾きの値を第4の推定値とするステップと、

(d) 前記ステップ(c)を、前記第1の推定値を変化させて繰り返し行うステップと、

(e) 前記ステップ(c)、(d)に係わる前記第1から第4の推定値を用いて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップと、

(f) 前記閾値電圧の真の値から前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するステップとを備える絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項12】 前記ステップ(e)は、前記ステップ(c)、(d)に係わる前記第2から第4の推定値の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求め、当該最適な第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定するとともに、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップを含む、請求項11記載の絶縁ゲ

ト型トランジスタの特性評価方法。

* 積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの
前記最適な第2から第4の推定値を、
【数5】

【請求項13】 前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記*

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{h^2(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^{**} は前記直線を外挿して得られるX切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$R^{\#}$ は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項12記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

* 第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの
前記最適な第2から第4の推定値を、
【数6】

【請求項14】 前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記*

$$F(\delta, V_{gtWi}) = R^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot R^{**}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

R^{**} は前記直線を外挿して得られるY切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$R^{\#}$ は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項12記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

★ 第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの
40 前記最適な第2から第4の推定値を、
【数7】

【請求項15】 前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記★

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{R^{**}(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} + DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、
 V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、
 R^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、
 h は前記直線の前記傾き、
 $DW^{\#}$ は前記仮想点のX座標、
プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項12記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項16】 前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記*

*第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの
前記最適な第2から第4の推定値を、

【数8】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) + \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、
 V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、
 dW^{**} は前記直線を外挿して得られるX切片の値、
 h は前記直線の前記傾き、
 $DW^{\#}$ は前記仮想点のX座標、
プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項12記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項17】 前記ステップ(e)は、前記ステップ(b)、(c)、(d)に係わる前記第1および第2の推定値の中から、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値との関係を示す特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求め、当該最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップを含むことを特徴とする、請求項11記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項18】 前記ステップ(e)では、複数の前記特性曲線の中から、前記所定の範囲において、前記第2の推定値が一定値に最もよく収束している最適な前記特性曲線を推定するステップを含むことを特徴とする、請求項17記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方※50

※法。

【請求項19】 前記ステップ(f)は、前記ゲートオーバードライブが0V近傍にあるときの前記第2の推定値から、前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定することを特徴とする、請求項11から請求項18のうちのいずれか一項に記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【請求項20】 マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタを作成する工程と、

前記2つの絶縁ゲート型トランジスタのドレイン電流特性をゲート電圧およびソース・ドレイン間電圧を変えて測定する工程と、

請求項1から請求項19のうちのいずれかに記載されている絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を用いて前記絶縁ゲート型トランジスタの実効チャネル幅を決定する工程と、

前記実効チャネル幅の仕様適合性を判断する工程とを備える、絶縁ゲート型トランジスタの製造方法。

【請求項21】 マスクチャネル幅のみが互いに異なる

少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価する絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置であって、

前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定し、推定して得た値を第1の推定値とする閾値電圧推定手段と、

前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出した前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義し、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときに、Y座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とし、並びに前記仮想点における前記特性曲線の傾きを抽出して当該傾きの値を第4の推定値とする抽出手段と、
前記第2から第4の推定値の中から、前記第1および第*

* 2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求め、求められた当該第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定すると共に、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧を決定する閾値電圧決定手段と、

10 前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するチャネルナローイング決定手段とを備える絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項22】 前記抽出手段は、前記特性曲線を、前記X-Y平面において、前記第1ゲートオーバードライブが第1の値のときに前記第1絶縁ゲート型トランジスタについて与えられる第1の点と、前記第2ゲートオーバードライブが前記第1の値のときに前記第2絶縁ゲート型トランジスタについて与えられる第2の点とを通る第1の直線を用いて近似することを特徴とする、請求項21記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

20 【請求項23】 前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【数9】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) + \frac{f(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - DW^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値（第1の推定値）と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるX切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

DW^* は前記仮想点のX座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項22記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項24】 前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前*

※記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【数10】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{f^2(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - G_{\square}^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるX切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

G_{\square}^* は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項2記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項25】 前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前*

*記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【数11】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = G_{\square}^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{f(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot G_{\square}^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - G_{\square}^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

G_{\square}^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

G_{\square}^* は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項2記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項26】 前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前*

*記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【数12】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{G_{\square}^{**}(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} + DW^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

G_{\square}^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、

DW^* は前記仮想点のX座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項2記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

★【請求項27】 マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前
★50 記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トラン

ジスタに関する特性を基準として前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価する絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置であって、

前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定し、推定して得た値を第1の推定値とする閾値電圧推定手段と、

前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出された前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したときに、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す第1の特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときにY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値を第2の推定値、または前記第1の特性曲線のX切片の値とする抽出手段と、

前記第2の推定値の中から、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値に係わる値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値との関係を示す第2の特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求め、求められた当該第1の推定値を前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧を決定する閾値電圧決定手段と、

前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するチャネルナローイング決定手段とを備える絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項28】 前記抽出手段は、さらに、前記第1の特性曲線のX切片の値を第3の推定値とし、

前記閾値電圧決定手段は、前記第2の推定値に係わる値として、前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値を用いることを特徴とする、請求項27記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項29】 前記閾値電圧決定手段では、前記所定の範囲において、前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値が一定値に最もよく収束するときの第1の推定値を最適な第1の推定値とすることを特徴とする、請求項28記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項30】 前記チャネルナローイング決定手段

は、前記ゲートオーバードライブが0Vの近傍のときに前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値から、前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定することを特徴とする、請求項21から請求項29のうちのいずれか一項に記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項31】 マスクチャネル幅のみが互いに異なる第1および第2絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅が広い方の前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記チャネル幅が狭い方の前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価する絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置であって、

前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定するとともに推定した当該閾値電圧の値を第1の推定値とする閾値電圧推定手段と、

前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出された前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したとき、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間抵抗をY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第1の点と前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第2の点とを通る直線上の点の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させてもY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とし、並びに前記仮想点における前記直線の傾きを抽出するとともに抽出した当該傾きの値を第4の推定値とする抽出手段と、

前記第1から第4の推定値を用いて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定する閾値電圧決定手段と、

前記閾値電圧の真の値から前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するチャネルナローイング決定手段とを備える絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項32】 前記閾値電圧決定手段は、前記第2から第4の推定値の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の

変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求め、当該最適な第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定するとともに、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定することを特徴とする、請求項31記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

*【請求項33】 前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、
【数13】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{h^2(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値（第1の推定値）と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^{**} は前記直線を外挿して得られるX切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$R^{\#}$ は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項32記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項34】 前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記

20※記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、
【数14】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = R^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot R^{**}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値（第1の推定値）と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

R^{**} は前記直線を外挿して得られるY切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$R^{\#}$ は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項33記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項35】 前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記★

★記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、
【数15】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{R^{**}(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} + DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

R^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$DW^{\#}$ は前記仮想点のX座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項3記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項36】 前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前*

*記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【数16】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) + \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^{**} は前記直線を外挿して得られるX切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$DW^{\#}$ は前記仮想点のX座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項3記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項37】 前記閾値電圧決定手段は、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値との関係を示す特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求め、当該最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定することを特徴とする、請求項31記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項38】 前記閾値電圧決定手段は、複数の前記特性曲線の中から、前記所定の範囲において、前記第2の推定値が最もよく一定値に収束している最適な前記特性曲線を推定することを特徴とする、請求項37記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項39】 前記チャネルナローイング決定手段は、前記ゲートオーバードライブが0V近傍にあるとき※50

※の前記第2の推定値から前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定することを特徴とする請求項31から請求項38のうちのいずれか一項に記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置。

【請求項40】 コンピュータに、マスクチャネル幅の幅が互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価させる特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出させ、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定させて推定させた値を第1の推定値とさせる手段と、

前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出させた前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタ

21

タのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したときに、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときに、Y座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出させて当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とさせ、並びに前記仮想点における前記特性曲線の傾きを抽出させて当該傾きの値を第4の推定値とさせる手段と、

前記コンピュータに、前記第2から第4の推定値の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求めさせ、求めさせた当該第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定すると共に、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧を決定させる手段と、

前記コンピュータに、前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定させる手段とを含む特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項41】 コンピュータに、マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価させる特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出させ、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定させて推定させた値を第1の推定値とさせる手段と、

前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出させた前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブを用いさせ、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を

22

示す第1の特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときに、Y座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出させて当該仮想点におけるX座標の値、または前記第1の特性曲線のX切片の値を第2の推定値とさせる手段と、

前記コンピュータに、前記第2の推定値の中から、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値に係わる値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値に係わる値との関係を示す第2の特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求めさせ、求めさせた当該第1の推定値を前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧と決定させる手段と、

前記コンピュータに、前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定させる手段とを含む特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項42】 コンピュータに、マスクチャネル幅のみが互いに異なる第1および第2絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価させる特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出させ、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定させて推定させた値を第1の推定値とさせる手段と、

前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出させた前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義させるとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義させたとき、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間抵抗をY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第1の点と前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第2の点とを通る直線上の点の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させてもY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出させて当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とさせ、並びに前記仮想点における

前記直線の傾きを抽出させるとともに抽出させた当該傾きの値を第4の推定値とさせる手段と、

前記コンピュータに、前記第1から第4の推定値を用いて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧を決定させる手段と、

前記コンピュータに、前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定させる手段とを含む特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は絶縁ゲート型トランジスタの実効チャネル幅を抽出する絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法、絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置、前記特性評価方法を用いる絶縁ゲート型トランジスタの製造方法および特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関するものである。

【0002】

【従来の技術】電氣的に有効なチャネル幅、すなわち実効チャネル幅 W_{eff} は、同一チャネル長でチャネル幅のみ異なる2つ以上の絶縁ゲート型トランジスタのドレイン電流から決定できる。一般に、その方法はドレインカレント法と呼ばれる。ドレインカレント法で直接決定されるのは、実効チャネル幅 W_{eff} とマスクチャネル幅 W_a との差、すなわちチャネルナローイング $DW (=W_a - W_{eff})$ である。

*【0003】ドレインカレント法として多くの方法がこれまでに提案されている。例えば、Y.R.Ma and K.L.Wan g, "A New Method to Electrically Determine Effective MMOSFET Channel Width," IEEE Trans.Elect.Dev., ED-29, p.1825, 1982; N.D.Arora, L.A.Blair and L.M.Richardson, "A New Method to Determine the MOSFET Effective Channel Width," IEEE Trans.Elect.Dev., ED-37 (3), p.811, 1990; Y.T.Chia and G.J.Hu, "A Method to Extract Gate-Bias-Dependent MOSFET's Effective Channel Width," IEEE Trans.Elect.Dev., ED-38(2), p.424, 1991; P.R.Karlsson and K.O.Jeppson, "A Direct Method to Extract Effective Geometries and Series Resistances of MOS Transistors," Proc. IEEE ICMTS, vol. 7, p.184, 1994等の文献に種々のドレインカレント法が記載されている。

【0004】種々のドレインカレント法のうち、Chia法が一般的によく用いられる。ここで、Chia法について簡単に説明する。ソース・ドレイン間の全抵抗 R はチャネル抵抗 R_{ch} と外部抵抗 R_{sd} の和で与えられる。また、次のドレイン電流を表す式として数17を仮定する。ただし、数17において、 β_0 、 V_{ds}^* および V_{gs}^* は数18、数19および数20で与えられ、 θ_1 、 θ_2 は定数である。また、数18において、 μ_0 はキャリアの移動度を、 L_{eff} は実効チャネル長、 W_{eff} は実効チャネル幅、 C_{ox} はゲート絶縁膜容量を表す。

【0005】

【数17】

$$I_{ds} = \frac{\beta_0 \cdot (V_{gs}^* - V_{th} - \frac{V_{ds}^*}{2}) \cdot V_{ds}^*}{1 + \theta_1 \cdot (V_{gs}^* - V_{th}) + \theta_2 \cdot (V_{gs}^* - V_{th})^2}$$

【0006】

【数18】

$$\beta_0 = \frac{\mu_0 C_{ox} W_{eff}}{L_{eff}}$$

【0007】

【数19】

$$V_{ds}^* = V_{ds} - I_{ds} \cdot R_{sd}$$

【0008】

【数20】

$$I_{ds} = \frac{\beta_0 \cdot (V_{gs} - V_{th} - \frac{V_{ds}}{2}) \cdot V_{ds}}{1 + (\theta_1 + \beta_0 \cdot R_{sd}) \cdot (V_{gs} - V_{th})}$$

※

$$V_{gs}^* = V_{gs} - \frac{I_{ds} \cdot R_{sd}}{2}$$

【0009】数17、数19および数20から、 θ_2 の項を無視して数21を得る。外部抵抗 R_{sd} が実効チャネル幅 W_{eff} に反比例すると仮定すると、次の手順でチャネルナローイング DW が抽出できる。なお、ゲート電圧と閾値電圧との差 $(V_{gs} - V_{th})$ はゲートオーバードライブ V_{gt} と定義される。

【0010】

【数21】

※

【0011】ステップ1:あるゲートオーバードライブ V_{gt} に対し、 $I_{ds} - W_a$ 特性をマスクチャネル幅 W_a をX★50

★軸、ドレイン電流 I_{ds} をY軸とするX-Y平面にプロットして直線近似(リニアフィッティング)を行う。その

時、各直線を外挿して得られるX-Y平面におけるX軸との交点が、そのゲートオーバードライブ V_{gt} におけるチャネルナローイング $DW(V_{gt})$ である(図1参照)。ステップ2:ゲートオーバードライブ V_{gt} を変化させてステップ1を繰り返すことにより、チャネルナローイング $DW(V_{gt})$ がどのようにゲートオーバードライブ V_{gt} に対して依存するかが分かる(図1参照)。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従来の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は以上のように構成されており、例えばChia法のように、抽出に用いるトランジスタの閾値電圧を知る必要がある。トランジスタの閾値電圧は、例えば図2に示すようにゲート電圧-ソース・ドレイン間電流特性から外挿して求められる。そのため、トランジスタサイズが小さくなるにつれて、閾値電圧の不確かさによって生じる誤差が顕著になるという問題がある。

【0013】この発明は上記の問題点を解消するためになされたものであり、閾値電圧の不確かさによって生じる誤差を小さくすることにより確度の高いチャネルナローイングの抽出ができる絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を得ることを目的とする。また、特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体を得ることを目的とする。また、その方法によって絶縁ゲート型トランジスタの評価を行う絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置を得ることを目的とする。さらに、前記特性評価方法を用いて特性の良い絶縁ゲート型トランジスタを容易に製造できる製造方法を得ることを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】第1の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、(a)マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタを準備するステップと、(b)前記少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定するとともに推定した当該閾値電圧の値を第1の推定値とするステップと、(c)前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出された前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したとき、

前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させてもY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とし、並びに前記仮想点における前記特性曲線の傾きを抽出するとともに抽出した当該傾きの値を第4の推定値とするステップと、

(d)前記ステップ(c)を、前記第1の推定値を変化させて繰り返すステップと、(e)前記ステップ(c)、(d)に係わる前記第2から第4の推定値の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求め、当該最適な第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定すると共に、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップと、(f)前記閾値電圧の真の値から前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するステップとを備えて構成される。

【0015】第2の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第1の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)では、前記特性曲線を、前記X-Y平面において、前記第1のゲートオーバードライブが第1の値のときに前記第1絶縁ゲート型トランジスタについて与えられる第1の点と、前記第2ゲートオーバードライブが前記第1の値の時に前記第2絶縁ゲート型トランジスタについて与えられる第2の点とを通る第1の直線で近似すること特徴とする。

【0016】第3の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第2の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【0017】

【数22】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) + \frac{f(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - DW^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、
 V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、
 dW^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるX切片の値、
 f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、
 DW^* は前記仮想点のX座標、
プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0018】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0019】第4の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第2の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小*

*変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【0020】

【数23】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{f^2(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - G_n^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、
 V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、
 dW^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるX切片の値、
 f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、
 G_n^* は前記仮想点のY座標、
プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0021】で与えられる関係式から求めることを特徴とする、請求項2記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【0022】第5の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第2の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e) ※

※は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【0023】

【数24】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = G_{\square}^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{f(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot G_{\square}^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - G_{\square}^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

G_{\square}^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

G_{\square}^* は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0024】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0025】第6の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第2の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小*

*変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【0026】

20 【数25】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{G_{\square}^{**'}(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} + DW^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

G_{\square}^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、

DW^* は前記仮想点のX座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0027】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0028】第7の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、(a)マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタを準備するステップと、(b)前記少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定して推定した値を第1の推定値とするステップと、(c)前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出した前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したときに、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面にお※50

※いて、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す第1の特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときに、Y座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値、または前記第1の特性曲線のX切片の値を第2の推定値とするステップと、(d)前記ステップ(c)を、前記第1の推定値を変化させて繰り返すステップと、(e)前記ステップ(b)、(c)、(d)に係わる前記第1および第2の推定値の中から、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値に係わる値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値に係わる値との関係を示す第2の特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求め、当該最適な第1の推定値に基

31

づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップと、(f)前記閾値電圧の真の値から前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するステップとを備えて構成される。

【0029】第8の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第7の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(c)では、さらに、前記第1の特性曲線のX切片の値を第3の推定値とし、前記ステップ(e)では、前記第2の推定値に係わる値として、前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値を用いることを特徴とする。

【0030】第9の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第8の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)では、前記所定の範囲において、前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値が最もよく一定値に収束するときの第1の推定値を最適な第1の推定値をとすることを特徴とする。

【0031】第10の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第1から第9の中の内いずれかの発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(f)は、前記ゲートオーバードライブが0Vの近傍のときに前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値から、前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定することを特徴とする。

【0032】第11の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、(a)マスクチャネル幅のみが互いに異なる第1および第2絶縁ゲート型トランジスタを準備するステップと、(b)前記マスクチャネル幅が広い前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記マスクチャネル幅が狭い前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定するとともに推定した当該閾値電圧の値を第1の推定値とするステップと、(c)前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出された前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したとき、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間抵抗をY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1絶縁ゲート型

32

トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第1の点と前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第2の点とを通る直線上の点の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させてもY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とし、並びに前記仮想点における前記直線の傾きを抽出するとともに抽出した当該傾きの値を第4の推定値とするステップと、(d)前記ステップ(c)を、前記第1の推定値を変化させて繰り返し行うステップと、(e)前記ステップ(c)、(d)に係わる前記第1から第4の推定値を用いて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップと、(f)前記閾値電圧の真の値から前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するステップとを備えて構成される。

【0033】第12の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第11の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)は、前記ステップ(c)、(d)に係わる前記第2から第4の推定値の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求め、当該最適な第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定するとともに、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップを含むことを特徴とする。

【0034】第13の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第12の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【0035】

【数26】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{h^2(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^{**} は前記直線を外挿して得られるX切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$R^{\#}$ は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0036】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0037】第14の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第12の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ

(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブ*

*の微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【0038】

【数27】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = R^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot R^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

R^{**} は前記直線を外挿して得られるY切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$R^{\#}$ は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0039】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0040】第15の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第12の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ

(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブ※40

※の微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【0041】

【数28】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{R^{**}(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} + DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、
 V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、
 R^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、
 h は前記直線の前記傾き、
 $DW^{\#}$ は前記仮想点のX座標、
プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0042】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0043】第16の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第12の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)は、前記第1および第2ゲートオーバードライブ*

*の微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【0044】

【数29】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) + \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、
 dW^{**} は前記直線を外挿して得られるX切片の値、
 h は前記直線の前記傾き、

$DW^{\#}$ は前記仮想点のX座標、
プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0045】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0046】第17の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第11の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)は、前記ステップ(b)、(c)、(d)に係わる前記第1および第2の推定値の中から、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値との関係を示す特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求め、当該最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定するステップを含むことを特徴とする。

【0047】第18の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第17の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(e)では、複数の特性曲線の中から、前記所定の範囲※50

※において、前記第2の推定値が最もよく一定値に収束している最適な前記特性曲線を推定するステップを含むことを特徴とする、請求項17記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法。

【0048】第19の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法は、第11から第18の中のいずれかの発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法において、前記ステップ(f)は、前記ゲートオーバードライブが0V近傍にあるときの前記第2の推定値から、前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定することを特徴とする。

【0049】第20の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの製造方法は、マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタを作成する工程と、前記2つの絶縁ゲート型トランジスタのドレイン電流特性をゲート電圧およびソース・ドレイン間電圧を変えて測定する工程と、請求項1から請求項19のうちのいずれかに記載されている絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を用いて前記絶縁ゲート型トランジ

スタの実効チャネル幅を決定する工程と、前記実効チャネル幅の仕様適合性を判断する工程とを備えて構成される。

【0050】第21の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価する絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置であって、前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定し、推定して得た値を第1の推定値とする閾値電圧推定手段と、前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出した前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義し、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときに、Y座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とし、並びに前記仮想点における前記特性曲線の傾きを抽出して当該傾きの値を第4の推定値とする抽出手段と、前記第2から第4の推定値の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微*

*小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求め、求められた当該第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定すると共に、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧を決定する閾値電圧決定手段と、前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定するチャネルナローイング決定手段とを備えて構成される。

【0051】第22の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第21の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記抽出手段は、前記特性曲線を、前記X-Y平面において、前記第1ゲートオーバードライブが第1の値のときに前記第1絶縁ゲート型トランジスタについて与えられる第1の点と、前記第2ゲートオーバードライブが前記第1の値のときに前記第2絶縁ゲート型トランジスタについて与えられる第2の点とを通る第1の直線を用いて近似することを特徴とする。

【0052】第23の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第22の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【0053】

【数30】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = dW^*(\delta, V_{gtWi}) + \frac{f(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^*(\delta, V_{gtWi}) - DW^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値（第1の推定値）と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^* は前記特性曲線を外挿して得られるX切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

DW^* は前記仮想点のX座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0054】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0055】第24の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第22の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、だい前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブ※50

※ブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【0056】

【数31】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{f^2(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^*(\delta, V_{gtWi}) - G_n^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

DW^* は前記特性曲線を外挿して得られるX切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

G_n^* は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0057】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0058】第25の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第22の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの*

*微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【0059】

【数32】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = G_n^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{f(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot G_n^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - G_n^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

G_n^{**} は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、

f は前記仮想点における前記特性曲線の前記傾き、

G_n^* は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0060】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0061】第26の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第22の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの※

※微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【0062】

【数33】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{G_n^{**'}(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} + DW^*(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

$G_n^{**'}$ は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、

DW^* は前記仮想点のX座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0063】で与えられる関係式から求めることを特徴★50★とする。

【0064】第27の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、マスクチャンネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャンネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記マスクチャンネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価する絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置であって、前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定し、推定して得た値を第1の推定値とする閾値電圧推定手段と、前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出された前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブをと定義したときに、前記マスクチャンネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャンネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す第1の特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときに、Y座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値、または前記第1の特性曲線のX切片の値を第2の推定値とする抽出手段と、前記第2の推定値の中から、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値に係わる値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値との関係を示す第2の特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求め、求められた当該第1の推定値を前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧を決定する閾値電圧決定手段と、前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャンネル幅と実効チャンネル幅との差を決定するチャンネルナローイング決定手段とを備えて構成される。

【0065】第28の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第27の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記抽出手段は、さらに、前記第1の特性曲線のX切片の値を第3の推定値とし、前記閾値電圧決定手段は、前記第2の推定値に係わる値として、前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値を用いることを特徴とする。

【0066】第29の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第28の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記所定の範囲において、前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値が最もよく一定値に収束するときの第1推定値を最適な第

1の推定値とすることを特徴とする。

【0067】第30の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第21から第29の中のいずれかの発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記チャンネルナローイング決定手段は、前記ゲートオーバードライブが0Vの近傍のときに前記第3の推定値を2倍した値から前記第2の推定値を引いて得られる値から、前記マスクチャンネル幅と実効チャンネル幅との差を決定することを特徴とする。

【0068】第31の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、マスクチャンネル幅のみが互いに異なる第1および第2絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャンネル幅の広い方の前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記チャンネル幅が狭い方の前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価する絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置であって、前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出し、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定するとともに推定した当該閾値電圧の値を第1の推定値とする閾値電圧推定手段と、前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出された前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したとき、前記マスクチャンネル幅をX軸、ソース・ドレイン間抵抗をY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャンネル幅をX座標とするとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第1の点と前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャンネル幅をX座標とするとともに前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第2の点とを通る直線上の点の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させてもY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出して当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とし、並びに前記仮想点における前記直線の傾きを抽出するとともに抽出した当該傾きの値を第4の推定値とする抽出手段と、前記第1から第4の推定値を用いて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定する閾値電圧決定手段と、前記閾値電圧の真の値から前記マスクチャンネル幅と実効チャンネル幅との差を決定するチャンネルナローイング決定手段とを備えて構成される。

【0069】第32の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第31の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記第2から第4の推定値の中から、前記第1

43

44

および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求め、当該最適な第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定するとともに、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定することを特徴とする。

【0070】第33の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタ*

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{h^2(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値（第1の推定値）と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

dW^{**} は前記直線を外挿して得られるX切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$R^{\#}$ は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0072】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0073】第34の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第32の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの※

*スタの特性評価装置は、第32の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【0071】

【数34】

※微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【0074】

【数35】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = R^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot R^{**}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値（第1の推定値）と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、

R^{**} は前記直線を外挿して得られるY切片の値、

h は前記直線の前記傾き、

$R^{\#}$ は前記仮想点のY座標、

プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0075】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0076】第35の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第32の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの★

★微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなるときの前記最適な第2から第4の推定値を、

【0077】

【数36】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{R^{**'}(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} + DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、
 V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、
 $R^{**'}$ は前記特性曲線を外挿して得られるY切片の値、
 h は前記直線の前記傾き、
 $DW^{\#}$ は前記仮想点のX座標、
プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0078】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0079】第36の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第32の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記第1および第2ゲートオーバードライブの*

*微小変化に対し、前記第2の推定値の前記変化分と前記第4の推定値との前記積に前記第3の推定値の前記変化分が等しくなる時の前記最適な第2から第4の推定値を、

【0080】

【数37】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) + \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

ただし、 δ は前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の推定値(第1の推定値)と前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差、

V_{gtWi} は前記第1ゲートオーバードライブ、
 dW^{**} は前記直線を外挿して得られるX切片の値、
 h は前記直線の前記傾き、

$DW^{\#}$ は前記仮想点のX座標、
プライムは V_{gtWi} についての1階微分、

【0081】で与えられる関係式から求めることを特徴とする。

【0082】第37の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第31の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値との関係を示す特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求め、当該最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧の真の値を決定することを特徴とする。

【0083】第38の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第37の発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記閾値電圧決定手段は、複数の前記特性曲線の中から、前記所定の範囲において、前記第2の推定値が最もよく一定値に収束している最適な前記特性曲線を推定することを特徴とす

※る。

【0084】第39の発明に係る絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置は、第31から第38の中のいずれかの発明の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置において、前記チャネルナローイング決定手段は、前記ゲートオーバードライブが0V近傍にあるときの前記第2の推定値から前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定することを特徴とする。

【0085】第40の発明に係る特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、コンピュータに、マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価させる特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出させ、前記第2絶縁ゲート型トランジスタ

に関する閾値電圧を推定させて推定させた値を第1の推定値とさせる手段と、前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出させた前記第1絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義したときに、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときに、Y座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出させて当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とさせ、並びに前記仮想点における前記特性曲線の傾きを抽出させて当該傾きの値を第4の推定値とさせる手段と、前記コンピュータに、前記第2から第4の推定値の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブの微小変化に対し、前記第2の推定値の変化分と前記第4の推定値との積に前記第3の推定値の変化分が等しくなるときの最適な第2から第4の推定値を求めさせ、求めさせた当該第2から第4の推定値に対応する最適な第1の推定値を決定すると共に、前記最適な第1の推定値に基づいて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧を決定させる手段と、前記コンピュータに、前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定させる手段とを含むことを特徴とする。

【0086】第41の発明に係る特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、コンピュータに、マスクチャネル幅のみが互いに異なる少なくとも2つの絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価させる特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出させ、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定させて推定させた値を第1の推定値とさせる手段と、前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出させた前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義するとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブを用いさせ、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間のコンダクタンスをY軸とするX-Y平面において、前記第1お

よび第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1および第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅と前記ソース・ドレイン間のコンダクタンスとの関係を示す第1の特性曲線から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させたときに、Y座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を抽出させて当該仮想点におけるX座標の値、または前記第1の特性曲線のX切片の値を第2の推定値とさせる手段と、前記コンピュータに、前記第2の推定値の中から、前記第2ゲートオーバードライブをX軸にとり前記第2の推定値に係わる値をY軸にとったときの、前記第2ゲートオーバードライブと前記第2の推定値に係わる値との関係を示す第2の特性曲線の形状が、前記第2ゲートオーバードライブの所定の範囲において所定の形状となる場合の最適な第1の推定値を求めさせ、求めさせた当該第1の推定値を前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧と決定させる手段と、前記コンピュータに、前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定させる手段とを含むことを特徴とする。

【0087】第42の発明に係る特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、コンピュータに、マスクチャネル幅のみが互いに異なる第1および第2絶縁ゲート型トランジスタのうち、前記マスクチャネル幅の広い方の第1絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を基準として前記マスクチャネル幅の狭い方の第2絶縁ゲート型トランジスタに関する特性を評価させる特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を抽出させ、前記第2絶縁ゲート型トランジスタに関する閾値電圧を推定させて推定させた値を第1の推定値とさせる手段と、前記コンピュータに、前記第1絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と抽出させた前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記閾値電圧との差を第1ゲートオーバードライブと定義させるとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタのゲート電圧と前記第1の推定値との差を第2ゲートオーバードライブと定義させたとき、前記マスクチャネル幅をX軸、ソース・ドレイン間抵抗をY軸とするX-Y平面において、前記第1および第2ゲートオーバードライブが等しいという条件の下で、前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第1の点と前記第2絶縁ゲート型トランジスタの前記マスクチャネル幅をX座標とするとともに前記第1絶縁ゲート型トランジスタの前記ソース・ドレイン間抵抗をY座標とする第2の点とを通る直線上の点の中から、前記第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させてもY座標の値の変化がほぼ0と推定される仮想点を

抽出させて当該仮想点におけるX座標の値およびY座標の値をそれぞれ第2および第3の推定値とさせ、並びに前記仮想点における前記直線の傾きを抽出させるとともに抽出させた当該傾きの値を第4の推定値とさせる手段と、前記コンピュータに、前記第1から第4の推定値を用いて前記第2絶縁ゲート型トランジスタの真の閾値電圧を決定させる手段と、前記コンピュータに、前記真の閾値電圧に基づいて前記マスクチャネル幅と実効チャネル幅との差を決定させる手段とを含むことを特徴とする。

【0088】

【発明の実施の形態】実施の形態1。実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法について説明する。実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法では、マスクチャネル長 L_a が同一でマスクチャネル幅 W_a の異なる複数のトランジスタの線形領域のドレイン電流を用いて、チャネルナローイング DW を抽出する。まず、実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法について概略的に説明する。実施の形態1による特性評価方法では、まず、マスクチャネル長 L_a が同一でマスクチャネル幅 W_a が異なる、少なくとも2つのMOSTトランジスタが準備される。以下の説明ではMOSTトランジスタの数を2つに限り、この2つのMOSTトランジスタのうち、マスクチャネル幅 W_a が広いトランジスタをワイドトランジスタまたは第1絶縁ゲート型トランジスタといい、狭いトランジスタをナロートランジスタまたは第2絶縁ゲート型トランジスタという。符号の添字 W_i はワイドトランジスタに関するものであることを示し、符号の添字 N_a は、ナロートランジスタに関するものであることを示す。例えば図2を用いて説明した従来と同様の方法により、これらワイドトランジスタとナロートランジスタの閾値電圧 V_{thWi} 、 V_{thNa} を、例えば $I_{ds}-V_{gs}$ 特性等から外挿する。このとき外挿して得られた第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧 V_{thNa} が第1の推定値である。ワイドトランジスタの閾値電圧 V_{thWi} を固定してナロートランジスタの閾値電圧 V_{thNa} （第1の推定値）を変化させ、変化させたそれぞれの閾値電圧 V_{thNa} についてゲートオーバードライブ V_{gt} を微小変化させてもソース・ドレイン間のコンダクタンスの変化がほぼ0と推定される仮想点の座標 (DW^*, G_a^*) を、例えばゲートオーバードライブ V_{gt} が異なる複数の特性曲線の交点座標から抽出する。このとき、ワイドトランジスタのゲートオーバードライブ V_{gt} が第1ゲートオーバードライブ、ナロートランジスタのゲートオーバードライブ V_{gt} が第2ゲートオーバードライブである。また、仮想点の座標 DW^* が第2の推定値、座標 G_a^* が第3の推定値になり、この仮想点における傾き f が第4の推定値となる。

【0089】次に、閾値電圧 V_{thWi} 、 V_{thNa} を用い、コンダクタンス G_a とマスクチャネル幅 W_a との関係から仮

想点の座標 (DW^*, G_a^*) を抽出する。コンダクタンス G_a とマスクチャネル幅 W_a との間に成立する関係から仮想点を抽出する方法としては、例えば従来と同様に、図31に示すグラフ、すなわちマスクチャネル幅 W_a をX軸に、ソース・ドレイン間のコンダクタンス G_a をY軸にとつて、 G_a-W_m 特性を表す2本の特性曲線（直線）が引かれたグラフから、その2本の直線の交点を求めることによって抽出する例が挙げられる。例えば、図3において、ゲートオーバードライブ V_{gt} を示す直線が第1の直線、当該第1の直線上でマスクチャネル幅 $W_a=W_{aWi}$ を満たす点が第1の点であり、当該第1の直線上でマスクチャネル幅 $W_a=W_{aNa}$ を満たす点が第2の点である。しかし、仮想点の座標の推定はこの例に限られるものではなく、例えば、2点を通る直線ではなくて、3点以上の点で決定される曲線であってもよく、また、交点ではなくて交点の近傍の点であってもよい。抽出した仮想点を示す座標 (DW^*, G_a^*) の値の中から、仮想点の座標のX成分の値 DW^* の変化分と単位幅当たりのチャネル抵抗値 f との積に対し、仮想点を示す座標のY成分の値 G_a^* の変化分が等しくなると推定されるものを決定する。

【0090】次に、MOSTトランジスタの実効チャネル幅 W_{eff} の抽出について図4を用いて具体的に説明する。まず、マスクチャネル長 L_a が同一でマスクチャネル幅 W_a が異なる、2つのトランジスタ W_i 、 N_a の $I_{ds}-V_{gs}$ 特性を測定する（ステップST1.1）。測定した $I_{ds}-V_{gs}$ 特性から、外挿法等を用いてワイドトランジスタとナロートランジスタの閾値電圧 V_{thWi} 、 V_{thNa} を抽出する（ステップST1.2）。これら閾値電圧 V_{thWi} 、 V_{thNa} の差 $(V_{thNa}-V_{thWi})$ を求める。以下、このようにして求めた閾値電圧 V_{thWi} 、 V_{thNa} の差 $(V_{thNa}-V_{thWi})$ を δ_{guess} と定義する。

【0091】閾値電圧の差として設定する値 δ を変化させる領域の上限と下限をそれぞれ $\delta_{inf}=\delta_{guess}-K$ 、 $\delta_{sup}=\delta_{guess}+K$ と決める（ステップST1.3）。ここで、 K は例えば0.2Vとする。また、初期値として $\delta=\delta_{inf}$ を設定する。そして、計算しようとしている δ が δ_{inf} と δ_{sup} との間に存在するかを判断する（ステップST1.4）。つまり $\delta_{inf}\leq\delta\leq\delta_{sup}$ であるか否かを判断する。

【0092】計算しようとしている δ が δ_{inf} と δ_{sup} との間に存在するときには、ワイドトランジスタの閾値電圧 V_{thWi} は、ステップST1.2で抽出した値に固定し、ナロートランジスタの閾値電圧 V_{thNa} は、仮想的にワイドトランジスタの閾値電圧 V_{thWi} と δ との和とする（ステップST1.5）。ステップST1.5の閾値電圧 V_{thWi} 、 $V_{thWi}+\delta$ を基準に、ゲートオーバードライブ V_{gt} を測る。ある領域 Ω 、例えば $0.3V\leq V_{gt}\leq 1.3V$ を満たすゲートオーバードライブ V_{gt} の範囲で20点程度、仮想点における W_a 座標の値の変化の割合 DW^* （ δ 、

$V_{gt n}$)、仮想点における G_n 座標の値の変化の割合 $G_n^{*'}(\delta, V_{gt n})$ 、単位幅当たりのコンダクタンス $f(\delta, V_{gt n})$ を求める。その求めた値から、数38で表される関数 $F(\delta, V_{gt n})$ の値を求める。

【0093】

【数38】

$$F(\delta, V_{gt n}) = G_n^{*'} - f \cdot DW^{*}$$

ただし、 $n = 1, 2, \dots, 20$

【0094】次に、領域 Ω において、関数 F の標準偏差 $\sigma[F(\delta)]$ を計算する(ステップST1.7)。 δ に $\delta + Q$ を代入することによって、シフト量 δ の値を変更してステップST1.4に戻る(ステップST1.8)。 Q の値は、例えば0.01とする。

【0095】ステップST1.4で $\delta_{inf} \leq \delta \leq \delta_{sup}$ であると判断された場合にはステップST1.5~ST1.8を繰り返す。しかし、ステップST1.4で $\delta_{inf} \leq \delta \leq \delta_{sup}$ でないと判断された場合には、ステップST1.9に進み、標準偏差 $\sigma[F(\delta)]$ が極小となる $\delta = \delta_0$ を求める。その時、ナロートランジスタの真の閾値電圧 V_{thNa} は、ワイドトランジスタの閾値電圧 V_{thWi} とステップST1.9で決定された δ_0 との和で与えられる。

【0096】ステップST1.9で決定した、ナロートランジスタの真の閾値電圧 $V_{thWi} + \delta_0$ を用いて、ナロートランジスタのゲートオーバードライブ V_{gt} を測り、仮想点の W_n 座標の値 $DW^*(V_{gt})$ を求める(ステップST1.10)。なお、このときのワイドトランジスタの閾値電圧 V_{thWi} はステップST1.5と同様にステップST1.2で求められた値を基準としている。

【0097】ナロートランジスタのチャネルナローイング DW_{Na} を、 $DW_{Na}(V_{gt}) = DW^{**}(V_{gt})$ とする(ステップST1.11)。ここで DW^{**} が最適な第2の推定値である。また同時に、実効チャネル幅 W_{effNa} は、後述する数39で与えられる。このとき、チャネルナローイング DW を与えるゲートオーバードライブ V_{gt} を用いて得られる G_n^{*} が最適な第3の推定値である。また、最適な第4の推定値は、チャネルナローイング DW を与えるゲートオーバードライブ V_{gt} を用いて得られる単位幅当たりのチャネルのコンダクタンス f である。

【0098】

【数39】

$$W_{effNa}(V_{gt}) = W_{nNa} - DW_{Na}(V_{gt})$$

【0099】なお、ステップST1.11でチャネルナローイング DW_{Na} を DW^{**} から決定したが、ゲートオーバードライブ V_{gt} が0近傍のチャネルナローイング $DW(V_{gt})$ を、交点の W_n 座標と W_n 切片から与えられる値($2 \cdot dW^{**} - DW^*$)に決定してもよい。この場合、ゲートオー

ードライブ V_{gt} が0近傍では、ゲートオーバードライブ V_{gt} の変化に対する($2 \cdot dW^{**} - DW^*$)の変化が極めて小さいため、チャネルナローイング DW_{Na} の決定が容易になる。

【0100】次に、数38に示す関数 F の標準偏差からチャネルナローイング DW 等を決定する具体的な手順について説明する。実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法では、閾値電圧の外挿の不確かさ、特にチャネル幅が狭いトランジスタの閾値電圧の外挿の不確かさによる誤差を軽減するために、例えば仮想点の W_n 座標の値 DW^* と dW^{**} の間に成り立つ数40の関係に着目して、変分的方法を適用する。なお、 dW^{**} は、ソース・ドレイン間のコンダクタンス G_n とマスクチャネル幅 W_n との間の関係において、ソース・ドレイン間のコンダクタンス G_n をY軸、マスクチャネル幅 W_n をX軸とするときに $G_n - W_n$ 特性曲線(直線)を外挿して得られるX切片の値である。以下、 dW^{**} を W_n 切片の値をいう。

【0101】

20 【数40】

$$dW^{**} + \frac{f}{f'} dW^{**'} - DW^* = 0$$

【0102】ナロートランジスタとワイドトランジスタとの閾値電圧における差を仮想的にシフト量 δ とし、 $G_{nNa}(V_{gtWi} + \delta - V_{thNa} + V_{thWi})$ と $G_{nWi}(V_{gtWi})$ より、仮想点の W_n 座標の値 DW^* 、 W_n 切片の値 dW^{**} およびその変化の割合 $dW^{**'}$ 、並びに単位幅当たりのチャネルのコンダクタンス f およびその変化の割合 f' を求める。シフト量 δ がナロートランジスタとワイドトランジスタの真の閾値電圧の差 δ_0 に等しいとき、数40が満足される。そのとき、 dW^{**} はチャネルナローイング DW を与える。従って、以下の手順でチャネルナローイング DW が抽出できる。

【0103】まず、あるシフト量 δ に対し、仮想点の W_n 座標の値 DW^* 、 W_n 切片の値 dW^{**} 、単位幅当たりのチャネルのコンダクタンス f を数41~数43で与える。

【0104】

【数41】

$$DW^* = \frac{W_{nNa} - r_i \cdot W_{nWi}}{(1 - r_i)}$$

40

【0105】

【数42】

$$dW^{**} = \frac{W_{nNa} - r_{ai} \cdot W_{nWi}}{(1 - r_{ai})}$$

【0106】

【数43】

$$f(V_{gtWi}, \delta) = \frac{G_{mWi}(V_{gtWi}) - G_{mNa}(V_{thWi} + \delta - V_{gtNa} + V_{thWi})}{W_{mWi} - W_{mNa}} \quad (28)$$

【0107】ただし、数41～数43で用いられているパラメータ r_i 、 r_{ai} は次の数44、数45で定義される。また、 V_{gtWi} はマスクチャネル幅 W_{aWi} が広いワイドトランジスタの閾値電圧 V_{thWi} を基準にしたゲート*

* オーバードライブを表す。

【0108】

【数44】

$$r_i(V_{gtWi}, \delta) = \frac{G_{mNa}'(V_{gtWi} + \delta - V_{thNa} + V_{thWi})}{G_{mWi}'(V_{gtWi})}$$

【0109】

$$r_{ai}(V_{gtWi}, \delta) = \frac{G_{mNa}(V_{gtWi} + \delta - V_{thNa} + V_{thWi})}{G_{mWi}(V_{gtWi})} \quad \text{※ ※【数45】}$$

【0110】シフト量 δ を変化させて、仮想点の W_a 座標の値 DW^* 、 W_a 切片の値 dW^{**} およびその変化の割合 $dW^{**'}$ 、並びに単位幅当たりのコンダクタンス f およびその変化の割合 f' を求める。数38に示す関数 F は、数46のように変形し、再定義した方が求めやすくなる。数46で定義される関数 F は、シフト量 δ がナロートランジスタとワイドトランジスタの閾値電圧の差 δ_0 ★

★に等しいときに、ゲートオーバードライブ V_{gtWi} に依存せず0になる。そこで、ゲートオーバードライブ V_{gtWi} のある領域で関数 F の標準偏差が極小となるシフト量 δ を真の閾値電圧の差 δ_0 に決定する。

20 【0111】

【数46】

$$F(V_{gtWi}, \delta) = dW^{**}(V_{gtWi}, \delta) + \frac{f(V_{gtWi}, \delta)}{f'(V_{gtWi}, \delta)} \cdot dW^{**'}(V_{gtWi}, \delta) - DW^*(V_{gtWi}, \delta)$$

【0112】図5は、関数 F の標準偏差とシフト量 δ との関係の一例を示すグラフである。図5に示すグラフではシフト量 δ が $-0.06V$ の時に最小値をとるので、真の閾値電圧の差 δ_0 を $-0.06V$ とする。

【0113】上述の閾値電圧の差 δ_0 の値を用いて、チャネルナローイング DW の値を決定する。例えば、図4のステップST1.11と同様にしてチャネルナローイング DW の値を決定してもよいが、仮想点の W_a 座標の値 DW^* 、 (δ_0, V_{gt}) のうち、ゲートオーバードライブ V_{gt} が☆

☆0近傍の値の平均値をチャネルナローイング DW の値としてもよい。実施の形態1によるMOSトランジスタの特性評価方法(以下、 G_m 法という。)をプロセスに適用した結果の一例を図6に示す。

【0114】なお、実施の形態1で用いた数46の代わりに、数47～数49のいずれかを用いて関数 F を求めてもよい。

【0115】

【数47】

$$F(\delta, V_{gt}) = \frac{f^2(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - G_m^*(\delta, V_{gtWi})$$

【0116】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = G_m^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{f(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} \cdot G_m^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - G_m^*(\delta, V_{gtWi}) \quad \text{◆ ◆【数48】}$$

【0117】

* * 【数49】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{G_{nNa}^{**'}(\delta, V_{gtWi})}{f'(\delta, V_{gtWi})} + DW^*(\delta, V_{gtWi})$$

【0118】数48、数49における G_{nNa}^{**} は $G_n - W_n$ 特性を外挿して得られるR切片の値である。このように、仮想点の座標を用いずに、マスクチャネル幅 W_n をX軸に、ソース・ドレイン間のコンダクタンス G_n をY軸にとって、 $G_n - W_n$ 特性曲線(直線)を外挿して $X=0$ または $Y=0$ として得られるY切片の値 G_{nNa}^{**} または

【0119】また、上記実施の形態1では、関数Fの標準偏差が極小となるとき値によってシフト量 δ を決定したが、関数Fの平均値が0に近い値、あるいは関数Fの2乗和(ΣF^2)の極小値でシフト量 δ を決定することもできる。ただし、標準偏差が極小となるとき値と

*生じる関数Fの値のオフセットによる誤差が含まれる場合がある。

【0120】また、上記実施の形態1では仮想点の W_n 座標の値 DW^* を求める際に、計算の精度を高めるために例えば数44において G_{nNa}'/G_{nWi}' を用いたが、簡易に処理することに重点を置くのであれば G_{nNa}'/G_{nWi}' の代わりに $\delta G_{nNa}/\delta G_{nWi}$ を用いても従来よりも高い精度の計算ができる。ワイドトランジスタやナロートランジスタのソース・ドレイン間のコンダクタンス G_n の変化の割合を高次の近似式を用いて高い精度で計算することによって高い精度でチャネルナローイング DW の抽出が行える。例えば、図7に示すように、幅 s をもって等間隔に並んだ点の y_0 における曲線の傾きは、数50に示す高次の近似式で与えることができる。

【0121】

【数50】

$$y_0' = \frac{1}{12 \cdot h} (y_{-2} - 8 \cdot y_{-1} + 8 \cdot y_1 - y_2)$$

【0122】実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を用いることで従来よりも高い精度で評価することができるようになったことから、 G_{nNa}'/G_{nWi}' を用いることによる精度の向上が従来に比べて十分に評価結果に反映されるようになる。また、 G_m 法における G_{nNa}'/G_{nWi}' の計算では、誤差を軽減するために数51に示すように、コンダクタンス※30

※ G_n ではなく、抵抗 R が用いられることがある。抵抗 R の対数の微分を用いるのは、 V_{gt} を0に近づけたときの抵抗 R の変化が大きいことにより生じる誤差を低減するためである。

【0123】

【数51】

$$\frac{G'_{nNa}}{G'_{nWi}} = \frac{(1/R_{Na})'}{(1/R_{Wi})'} = \frac{R'_{Na}}{R'_{Wi}} \cdot \frac{R_{Wi}^2}{R_{Na}^2} = \frac{(\ln R_{Na})'}{(\ln R_{Wi})'} \cdot \frac{R_{Wi}}{R_{Na}}$$

【0124】次に、実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置について図8を用いて説明する。絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置1は、被測定物2の測定を行うための測定装置3に接続されている。被測定物2としては、例えば、ワイドトランジスタとナロートランジスタとが作り込まれている集積回路がある。例えば、製造工程が終了したロットから抜き出された、このような集積回路が測定装置3にセットされて測定が行われる。測定装置3は、特性評価装置1の制御部4によって制御される。制御部4に与えられる制御情報は入力部5から与えられる。入力部5はキーボードやマウスなどによって構成される。測定装置3で得られた測定データは制御情報とともに制御部4から計算部6に入力される。計算部6は、入力部5から入力されるデータに基づいて、実効チャネル幅 W_{eff} の抽出を行う。出力部7は、抽出された実効チャネル幅 W_{eff} や途中の制

★御情報を出力する。出力部7が出力する制御情報は、制御部4や計算部5から与えられる。

【0125】計算部6は、閾値電圧 V_{thWi} 、 V_{thNa} 、仮想シフト量 δ を決定する閾値電圧・仮想シフト量決定部11と、仮想点の座標としての交点座標(DW^* 、 G_n^*)およびその交点座標における特性曲線の傾き f を抽出する抽出部12と、真のシフト量 δ_0 を決定するための真のシフト量決定部13と、チャネルナローイング DW (あるいは実効チャネル幅 W_{eff})を決定するチャネルナローイング決定部14とで構成されている。ここでは、 $W_n - G_n$ 特性曲線においてゲートオーバードライブ V_{gt} を微小変化させてもソース・ドレイン間のコンダクタンス G_n の変化がほぼ0と推定される仮想点の座標として交点座標を用いたが、交点座標は交点を求める以外の方法で求めてもよく、また上述のように仮想点の座標として他の点を用いてもよい。計算部6で計算を行わせるため

57

に、入力部5から閾値電圧・仮想シフト量決定部11に対し、仮想シフト量 δ を変化させる範囲の上限値 δ_{sup} と下限値 δ_{inf} を決めるための変数 K の値、ゲートオーバードライブ V_{gt} を測定する領域 Ω の範囲、および仮想シフト量 δ の変化量 Q が入力される。また、制御部4から閾値電圧・仮想シフト量決定部11に対し、ソース・ドレイン間電流 I_{ds} とゲート・ソース間電圧 V_{gs} の測定データが与えられる。これらのデータを受け取った閾値電圧・仮想シフト量決定部11から抽出部12に対し、ワイドトランジスタの閾値電圧 V_{thWi} と、その閾値電圧 V_{thWi} とナロートランジスタの閾値電圧 V_{thNa} の差を示す仮想シフト量 δ が与えられる。抽出部12では、さらに入力部5から与えられるマスクチャネル幅 W_a の値と、制御部4から与えられるソース・ドレイン間電流 I_{ds} とゲート・ソース間電圧 V_{gs} の測定データをも用い、各シフト量 δ に関し、領域 Ω において、交点座標(DW^* 、 G_a^*)の変化の割合 dDW^*/dV_{gt} 、 dG_a^*/dV_{gt} 、特性曲線の傾き f を抽出する。抽出部12で抽出された交点の W_a 座標の変化の割合 dDW^*/dV_{gt} 、交点の R 座標の変化の割合 dG_a^*/dV_{gt} 、特性曲線の傾き f を用いて、真のシフト量決定部13は、領域 Ω において数38に示されている関数 F の標準偏差が最小となる仮想シフト量 δ_0 を決定する。真のシフト量 δ_0 が決定されると、抽出部12は、真のシフト量 δ_0 とそれに対応する交点の W_a 座標 DW^* 、 W_a 切片の値 dW^* をチャネルナローイング決定部14に対して出力する。チャネルナローイング決定部14では、 W_a 切片の値 dW^* や仮想点の W_a 座標の値 DW^* からチャネルナローイング DW を決定し、数39に示されている計算を行って実効チャネル幅 W_{eff} を決定する。出力部7からは、チャネルナローイング決定部14で決定されたチャネルナローイング DW と実効チャネル幅 W_{eff} 、抽出部12で抽出された交点座標(DW^* 、 G_a^*)と交点座標における特性曲線の傾き、真のシフト量決定部13で決定された真のシフト量 δ_0 が出力される。以上のように構成することによって、実効チャネル幅 W_{eff} の抽出確度が従来よりも向上した絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置を得ることができる。

【0126】なお、図9に示すように、上記の実施の形態1で説明した、図4に示す手順に従ってコンピュータに絶縁ゲート型トランジスタを評価させるための評価プログラム30を、該プログラムを記録した記録媒体からコンピュータに読み取らせることによって上記実施の形態1で説明した絶縁ゲート型トランジスタの特性評価をコンピュータで実現できることはいふまでもない。評価プログラム30を実行することによって、実施の形態1で説明したように、例えば図8の測定装置3から与えられる測定データ31と入力部5から与えられる制御情報32に基づいて、実効チャネル幅 W_{eff} に関するデータを含む測定データ33を抽出することができる。

58

【0127】次に、実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの製造方法について図10を用いて説明する。まず、ターゲットとなるナロートランジスタとリファレンスとなるワイドトランジスタを試作する(ステップST50)。ナロートランジスタおよびワイドトランジスタの電気的特性を測定する(ステップST51)。この測定のステップで、各トランジスタの I_{ds} - V_{gs} 特性、オフリーク電流 I_{off} およびドレイン電流 I_{dmax} 等の測定を行う。オフリーク電流 I_{off} は、例えば $V_{ds}=VDD$ 、 $V_{gs}=V_{bs}=0V$ の時にソース・ドレイン間に流れる電流である。また、電流 I_{dmax} は、 $V_{ds}=V_{gs}=VDD$ 、 $V_{bs}=0V$ の時にソース・ドレイン間に流れる電流である。ここで、 VDD は電源電圧を示す。

【0128】次に、実施の形態1で説明した、絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を用い、 I_{ds} - V_{gs} 特性などからナロートランジスタの閾値電圧 V_{thNa} や実効チャネル幅 W_{effNa} を抽出する。そして、ナロートランジスタの閾値電圧 V_{thNa} と実効チャネル幅 W_{effNa} と電流 I_{dmax} 、 I_{off} が仕様を満足するかを判断する(ステップST53)。もし、仕様を満足していないときには、ステップST50に戻り、新しいマスクを用いて試作をやり直す。

【0129】実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法によれば、既知のマスクチャネル幅と電気的特性から閾値電圧を正確に決定することができるため、絶縁ゲート型トランジスタの断面を電子顕微鏡などを用いて観察する場合に比べて製造に要する時間を短縮することができるという効果がある。また、実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法によれば、図11に示すように、ゲートオーバードライブ V_{gt} に対応して、所望のマスクチャネル幅 W_a における実効チャネル幅 W_{eff} の範囲が正確に求められる。また、実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法によって、同時に実効チャネル幅 W_{eff} の変動範囲に対応する閾値電圧 V_{th} の変動範囲が正確に求められ(図12参照)、製造工程における閾値電圧 V_{th} についての品質管理が容易になる。

【0130】実施の形態2。まず、実施の形態2による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法の概要について図13を用いて説明する。図13は、実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法によって求められる($2 \cdot dW^* - DW^*$)の値とゲートオーバードライブ V_{gt} との関係を示すグラフである。このグラフには、マスクチャネル幅 W_{aNa} が異なる3つのナロートランジスタについて、真の閾値電圧を用いたときの($2 \cdot dW^* - DW^*$)の値の変化が示されている。ただし、これら W_a 座標の値 dW^* および DW^* を抽出するための基準となるワイドトランジスタのマスクチャネル幅 W_{aWi} は同じ値に設定されている。図13を図14~図16と比較して分かるように、真の閾値電圧を用いると、ゲ-

トオーバードライブ V_{gt} に対する $(2 \cdot dW^{**} - DW^*)$ の変化はナロートランジスタのマスクチャネル幅 W_{an} に係わらずほぼ同じである。従って、ゲートオーバードライブ V_{gt} の値が、例えば0.3〜1.2Vの範囲で、このグラフの特性曲線と一致するものを見いだせれば、ナロートランジスタについて真の閾値電圧を抽出することができる。なお、実施の形態2においても、実施の形態1と同様に、第1および第2絶縁ゲート型トランジスタ、第1および第2ゲートオーバードライブ並びに第1および第2の推定値が定義される。

【0131】次に、この発明の実施の形態2による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法の一例について説明する。実施の形態2による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法では、ナロートランジスタの閾値電圧 V_{thNa} の推定値、すなわち第1の推定値によって様々に変化する特性曲線(図16参照)の中から図13に示す特性曲線を、その特性曲線が例えば0.2〜0.6Vの範囲で標準偏差が小さいことを用いて抽出する。実施の形態2による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法においては $(2 \cdot dW^{**} - DW^*)$ のゲートオーバードライブ V_{gt} に対する依存性を利用してナロートランジスタの真の閾値電圧を決定するため、実施の形態1によるそれと似通った手順によって真の閾値電圧が決定される。

【0132】実施の形態2の実効チャネル幅 W_{eff} の抽出手順の一例が図17に示されている。実効チャネル幅 W_{eff} を抽出する手順に関して、実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法と実施の形態2によるそれとが異なるのは、図4のステップST1.6、ステップST1.7、ステップST1.9〜ST1.11にそれぞれ対応する図17のステップST1.12、ST1.13、ST1.14〜ST1.16である。

【0133】ステップST1.12で W_a 座標と W_a 切片の値を用いて $2 \cdot dW^{**} - DW^*$ が求められる。ステップST1.12で求める $2 \cdot dW^{**} - DW^*$ の値は、例えば20個程の異なるゲートオーバードライブ V_{gtn} について求められる。ステップST1.13では、シフト量 δ について W_m 切片の値 dW^{**} を2倍したものと仮想点の W_a 座標の値 DW^* を引いた値の平均値 $<2 \cdot dW^{**} - DW^*>$ と標準偏差 $\sigma [2 \cdot dW^{**} - DW^*]$ について計算する。

【0134】シフト量 δ について所定の範囲 $\delta_{inf} \sim \delta_{sup}$ についてステップST1.13の計算が終了したと判断されると(ステップST1.4)、ステップST1.14でチャネルナローイング DW を与えるシフト量 δ_0 を推定する。この真のシフト量 δ_0 は、標準偏差 $\sigma [2 \cdot dW^{**} - DW^*]$ が最小となるときのシフト量 δ である。標準偏差が最小となることは、つまり特性曲線の値が最もよく一定値に収束している特性曲線を選択していることである。ステップST1.15では、例えばチャネルナローイング DW がシフト量 δ_0 の仮想点の W_a 座標の値 DW^* の平均値で与えられる。そして、ステップST1.16で、実効チャネル幅 W_{eff}

は、マスクチャネル幅 W_a とチャネルナローイング DW との差で決定される。

【0135】次に、実施の形態2による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置について図18を用いて説明する。図18に示す絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置1Aは、図8に示す実施の形態1の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置1と同様に、被測定物2の測定を行うための測定装置3に接続されている。この絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置1Aの構成において、図8の特性評価装置1と同一符号で示された部分は図8の同一符号部分に相当する部分である。つまり、特性評価装置1Aは、計算部6Aの抽出部12Aと真のシフト量決定部13Aとチャネルナローイング決定部14A以外の構成について、特性評価装置1と同じに構成できる。特性評価装置1Aの抽出部12Aは、ゲートオーバードライブ V_{gt} を領域 Ω で変化させて、 $(2 \cdot dW^{**} - DW^*)$ を求める。真のシフト量決定部13Aでは、この領域 Ω における交点の W_a 座標の値 DW^* と W_a 切片 dW^{**} から、標準偏差 $\sigma [2 \cdot dW^{**} - DW^*]$ が最小になる値を求め、真のシフト量 δ_0 を決定する。抽出部12Aは、真のシフト量 δ_0 とそれに対応する交点の W_a 座標の値 DW^* や W_a 切片の値 dW^{**} をチャネルナローイング決定部14Aに対して出力する。チャネルナローイング決定部14Aでは、真のシフト量 δ_0 について領域 Ω 、ゲートオーバードライブ V_{gt} が0Vの近傍、例えば0.2 $\leq V_{gt} \leq$ 0.6に渡る $(2 \cdot dW^{**} - DW^*)$ の平均値や W_a 切片の値 dW^{**} からチャネルナローイング DW を決定する。実施の形態2において、チャネルナローイング DW は、 $(2 \cdot dW^{**} - DW^*)$ の値の標準偏差 $\sigma [(2 \cdot dW^{**} - DW^*)]$ が極小になる値や W_a 切片の値 dW^{**} の標準偏差 $\sigma [dW^{**}]$ が極小になる値に決定するが、このような決定の仕方に限られるものではなく、ゲートオーバードライブ V_{gt} が所定の範囲にあるとき、 W_a 切片の値 dW^{**} や $(2 \cdot dW^{**} - DW^*)$ が最もよく一定値に収束している特性曲線を選ぶことによってナロートランジスタの閾値電圧 V_{thNa} を決定すればよい。

【0136】なお、実施の形態2による絶縁ゲート型トランジスタの製造方法については、図10におけるステップST52において実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法に代えて実施の形態2による評価方法を用いればよく、上記実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を製造方法に適用した場合と同様の効果を奏する。

【0137】また、図9に示すように、上記の実施の形態2で説明した図17に示す手順に従ってコンピュータに絶縁ゲート型トランジスタを評価させるための評価プログラム30を、該プログラムを記録した記録媒体からコンピュータに読み取らせることによって上記実施の形態2で説明した絶縁ゲート型トランジスタの特性評価をコンピュータで実現できる。また、実施の形態2による

61

絶縁ゲート型トランジスタの製造方法については、図10におけるステップST52において実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法に代えて実施の形態2による評価方法を用いればよく、上記実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を製造方法に適用した場合と同様の効果を奏する。

【0138】なお、実施の形態1および実施の形態2によるチャネルナローイングDWの抽出において、ナロートランジスタのマスクチャネル幅 W_{mNa} がワイドトランジスタのマスクチャネル幅 W_{mNi} よりも十分に小さい($W_{mNa} \ll W_{mNi}$)とき、マスクチャネル幅 W_{mNi} とゲート仕上がり幅 W_{gNi} との差は仮想点の W_a 座標の値 DW^* の決定にほとんど影響せず、ナロートランジスタのチャネルナローイングDWを決定できる。例えば、パターン幅が *

$$dW^{**}(V_{gt}) = (W_{mNa} - \frac{G_{mNa}}{G_{mNi}} \cdot W_{mNi}) \cdot (1 - \frac{G_{mNa}}{G_{mNi}})^{-1}$$

【0140】いま、ゲート仕上がり幅・ソース・ドレイン間のコンダクタンス平面(W_g - G_a 平面)における W_g 切片を dW_g^{**} と表すと数53が得られる。

$$dW_g^{**}(V_{gt}) = (W_{gNa} - \frac{G_{mNa}}{G_{mNi}} \cdot W_{gNi}) \cdot (1 - \frac{G_{mNa}}{G_{mNi}})^{-1}$$

【0142】ゲート仕上がり幅 W_g とマスクチャネル幅 W_a との差を ΔW とすると、それぞれワイドトランジスタおよびナロートランジスタのゲート仕上がり幅 W_{gNi} 、 W_{gNa} とマスクチャネル幅 W_{mNi} 、 W_{mNa} との間には、これらの差を示す ΔW_{Ni} 、 ΔW_{Na} を用い、数54、数55の関係が成り立つので、数52から数55を用いると、 W_a 切片の座標の値 dW^{**} と W_g 切片の座標の値 dW_g^{**} との差は数56のようになる。ただし、 ΔW は数57に示すとおり定義されている。

【0143】

$$\begin{aligned} dW^{**} - dW_g^{**} &= -\Delta W_{Na} + \frac{G_{mNa}}{G_{mNi}} \cdot (1 - \frac{G_{mNa}}{G_{mNi}})^{-1} \cdot \Delta W \\ &\approx -\Delta W_{Na} + \frac{G_{mNa}}{G_{mNi}} \cdot \Delta W \\ &\approx -\Delta W_{Na} + \frac{W_{effNa}}{W_{effNi}} \cdot \Delta W \end{aligned}$$

【0146】

【数57】

$$\Delta W = \Delta W_{Ni} - \Delta W_{Na}$$

【0147】数55、数56は、 $W_{mNa} \ll W_{mNi}$ の関係が成り立つ場合、ナロートランジスタの実効チャネル幅 W_{eff} が抽出されることを表している。そして、数56の最後の式の第2項が誤差を表す。いま、相対誤差を r ☆50

62

*1. $0\mu m$ 以下のレベルのデバイス/回路パフォーマンスを評価するためには、各トランジスタのチャネルナローイングDWを抽出することが要求される。各トランジスタに対してチャネルナローイングDWを抽出するにはナロートランジスタとリファレンスとなるワイドトランジスタの2つのトランジスタを用いる。このようなチャネルナローイングDWの抽出においてゲート仕上がり幅 W_g とマスクチャネル幅 W_a との差がトランジスタにより異なるために生じる誤差について説明する。マスクチャネル幅 W_a を用いたときの仮想点の W_a 座標の値 dW^{**} は数52で与えられる。

【0139】

【数52】

※【0141】

【数53】

※20

★【数54】

$$W_{gNi} = W_{mNi} + \Delta W_{Ni}$$

【0144】

【数55】

$$W_{gNa} = W_{mNa} + \Delta W_{Na}$$

【0145】

【数56】

☆で表すと数58を得る。そして、 $W_{gNi} \approx W_{mNi}$ とすると、数58は数59のように変形される。

【0148】

【数58】

$$\frac{W_{ffNa}}{W_{effNi}} \cdot |\Delta W| < r \cdot W_{effNa}$$

【0149】

【数59】

$$W_{\text{eff}} > \frac{|\Delta W|}{r}$$

【0150】数59は、ワイドトランジスタのサイズに制限を与える。例えば、 $\Delta W = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $r = 0.02$ の場合、正確にナロートランジスタの実効チャネル幅を抽出するためにはワイドトランジスタのマスクチャネル幅 W_{eff} を $5 \mu\text{m}$ よりも大きくする必要がある。また、チャネルナローイング DW を $(2 \cdot dW^{**} - DW^{*})$ から決定する場合についても同様にマスクチャネル幅 W_{eff} が決定されることが望ましい。


【0151】実施の形態3。次に、実施の形態3による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法について説明する。実施の形態3による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法では、マスクチャネル長 L_{eff} が同一でマスクチャネル幅 W_{eff} の異なる2つの絶縁ゲート型トランジスタの線形領域のドレイン電流を用いて、チャネルナローイング DW を抽出する。

【0152】まず、実施の形態3による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法について概略的に説明する。実施の形態3による特性評価方法では、まず、実施の形態1による特性評価方法と同様に、マスクチャネル長 L_{eff} が同一でマスクチャネル幅が異なる2つのMOSTランジスタが準備される。そして、実施の形態1と同様にワイドトランジスタとナロートランジスタの閾値電圧 V_{thWi} 、 V_{thNa} を、例えば $I_{\text{ds}} - V_{\text{gs}}$ 特性から外挿するなどして抽出する。このとき抽出される V_{thNa} が第1の推定値である。ワイドトランジスタのゲートオーバードライブ V_{gt} 、すなわち第1ゲートオーバードライブとナロートランジスタのゲートオーバードライブ V_{gt} 、すなわち第2ゲートオーバードライブとが等しいという条件の下で、マスクチャネル幅 W_{eff} をX軸、ソース・ドレイン間抵抗 R をY軸とするX-Y平面において後述する仮想点を抽出する。この仮想点は、実際の測定点として存在するものではなくて、ワイドトランジスタのマスクチャネル幅 W_{eff} をX座標とするとともにナロートランジスタ

$$F(\delta, V_{\text{gtWi}}) = R^{*'}(\delta, V_{\text{gtWi}}) - h(\delta, V_{\text{gtWi}}) \cdot DW^{*'}(\delta, V_{\text{gtWi}})$$

【0156】そこで、シフト量 δ を変動させてゲートオーバードライブ V_{gt} のある領域で関数 F の標準偏差が最小となる真のシフト量 δ_0 の値を決定する。この真のシフト量 δ_0 を用いて、例えば図19に示すように直線を外挿して得られるX切片の値 dW^{**} を求め、この値 dW^{**} からチャネルナローイング DW を決定する。実効チャネル幅 W_{eff} は、マスクチャネル幅 W_{eff} からチャネルナローイング DW を引いて得られる値とである。

【0157】次に、MOSTランジスタの実効チャネル幅 W_{eff} の抽出について図20を用いて具体的に説明する。図20に示す実施の形態3による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法における各ステップは、ステッ

タのソース・ドレイン間抵抗 R_{Na} をY座標とする第1の点と、ナロートランジスタのマスクチャネル幅 W_{eff} をX座標とするとともにワイドトランジスタのソース・ドレイン間抵抗 R_{Wi} をY座標とする第2の点とを通る直線に存在する仮想的な点である。この仮想点は、第1および第2ゲートオーバードライブを微小変化させてもソース・ドレイン間抵抗の変化がほぼ0という性質を有している。そのため、この仮想点は、図19に示すように、第1及び第2ゲートオーバードライブの値が δV_{gt} だけ異なる2つの直線の交点として求められる。図19に示すように、この交点のX座標(W_{eff} 座標)が DW^{} と表され、Y座標が R^{*} と表される。なお、実施の形態3におけるこの直線の中には直線で近似されうる曲線も含まれるものとする。また、仮想点はこの直線上の位置から僅かにずれていても、交点の近傍の点を用いることもできる。図19の交点座標(R^{*} 、 DW^{*})と直線の傾き h の間には数60の関係が成り立つ。数60において、プライムは V_{gt} についての一階微分を表す。

【0153】

20 【数60】

$$R^{*'} = h \cdot DW^{*'}$$

【0154】ナロートランジスタのソース・ドレイン間抵抗 R_{Na} ($V_{\text{gtWi}} + \delta - V_{\text{thNa}} + V_{\text{thWi}}$)とワイドトランジスタのソース・ドレイン間抵抗 R_{Wi} (V_{gtWi})より $DW^{*'}(\delta, V_{\text{gtWi}})$ 、 $R^{*'}(\delta, V_{\text{gtWi}})$ および $h(\delta, V_{\text{gtWi}})$ が求められる。ここで、 δ は2つの真の閾値電圧 V_{thWi} 、 V_{thNa} の差を計算するために変動させるシフト量である。シフト量 δ がワイドトランジスタとナロートランジスタの閾値電圧の差($V_{\text{thNa}} - V_{\text{thWi}}$)に等しいとき、数60の関係があることから数61で定義される関数 F はゲートオーバードライブ V_{gt} によらず0になる。

【0155】

【数61】

※ブST1.20を除いて、同一符号が付された、図4に示す、実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法の各ステップと同様である。ステップST1.20では、数61に示す関数 F を計算する。ステップST1.9では、ステップST1.20で得られる数61の計算結果を用いてステップST1.7で計算したその標準偏差が最小となるシフト量 δ から真のシフト量 δ_0 を決定する。この真のシフト量 δ_0 を用いて、チャネルナローイング DW を決定するステップST1.10および実効チャネル幅 W_{eff} を決定するステップST1.11は、図4に示す実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法と同様である。

65

【0158】なお、ステップST1.11でチャネルナローイング DW_{Na} を dW^{**} から決定したが、ゲートオーバードライブ V_{gt} が0近傍のチャネルナローイング DW (V_{gt})を、交点の W_a 座標の値 $DW^{\#}$ に決定してもよい。

【0159】次に、数61に示す関数 F の標準偏差からチャネルナローイング DW 等を決定する具体的な手順について説明する。実施の形態3による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法では、閾値電圧の外挿の不確かさ、特にチャネル幅が狭いトランジスタの閾値電圧の外*

$$F(\delta, V_{gtWi}) = dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) + \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**'}(\delta, V_{gtWi}) - DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

【0161】まず、あるシフト量 δ に対し、 $DW^{\#}(V_{gtWi}, \delta)$ 、 $dW^{**}(V_{gtWi}, \delta)$ を、それぞれ数63、数64で与える。ただし、 rri と rai は数65、数66で定義される。また、直線の傾き h は数67で与えられる。

【0162】

【数63】

$$DW^{\#} = \frac{W_{Na} - rri \cdot W_{Wi}}{1 - rri}$$

※【0163】

【数64】

$$dW^{**} = \frac{W_{Na} - rai \cdot W_{Wi}}{1 - rai}$$

20

【0164】

【数65】

※

$$rri(V_{gtWi}, \delta) = \frac{R_{Wi}'(V_{gtWi})}{R_{Na}'(V_{gtWi} + \delta - V_{thNa} + V_{thWi})}$$

【0165】

★ ★【数66】

$$rai(V_{gtWi}, \delta) = \frac{R_{Wi}(V_{gtWi})}{R_{Na}(V_{gtWi} + \delta - V_{thNa} + V_{thWi})}$$

【0166】

☆ ☆【数67】

$$h(V_{gtWi}, \delta) = \frac{R_{Na}(V_{gtWi} + \delta - V_{thNa} + V_{thWi}) - R_{Wi}(V_{gtWi})}{W_{Wi} - W_{Na}}$$

【0167】シフト量 δ を変化させて、仮想点の W_a 座標の値 $DW^{\#}$ 、 W_a 切片の値 dW^{**} およびその変化の割合 $dW^{**'}$ 並びに単位幅当たりの抵抗 h 及びその変化の割合 h' を求める。シフト量 δ がナロートランジスタとワイドトランジスタの閾値電圧の差 δ_0 に等しいときに、数62で定義される関数 F はゲートオーバードライブ V_{gtWi} に依存せず0になる。そこで、ゲートオーバードライブ V_{gtWi} のある領域での関数 F の標準偏差が最小となるときのシフト量 δ の値を真のシフト量 δ_0 とする(図21)。そして、真のシフト量 δ_0 を用いて得られる W_a 切片の値 $dW^{**}(V_{gt}, \delta_0)$ を、チャネルナローイング $DW(V_{gt})$ とする。

【0168】なお、上記実施の形態3では真のシフト量 δ_0 を関数 F の標準偏差が最小となる条件から決定した ◆50

66

*挿の不確かさによる誤差を軽減するために、例えば仮想点の W_a 座標の値 $DW^{\#}$ と W_a 切片の値 dW^{**} の間に成り立つ数62の關係に着目して、変分的方法を適用する。なお、ここでは、数61が交点座標($R^{\#}$, $DW^{\#}$)の微分を含むので計算値の誤差が大きくなる可能性があるという理由から、数61に代えて数62が用いられる。

【0160】

【数62】

40

◆が、離散的なゲートオーバードライブ V_{gt} に対して求められる関数 F の値をそれぞれ2乗して得た値の総和が極小となる条件から決定してもよい。例えばゲートオーバードライブ V_{gt0} について20点程計算する場合、総和 Z は、数68のように表すことができる。

【0169】

【数68】

$$Z = \sum_{n=1}^{20} F^2(V_{gt0})$$

【0170】また、実施の形態3で用いた数62の代わりに、数69～数71のいずれかを用いて関数 F を求めてもよい。

【0171】

【数69】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{h^2(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot dW^{**}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

【0172】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = R^{**}(\delta, V_{gtWi}) - \frac{h(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} \cdot R^{**}(\delta, V_{gtWi}) - R^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

【0173】

$$F(\delta, V_{gtWi}) = \frac{R^{**}(\delta, V_{gtWi})}{h'(\delta, V_{gtWi})} + DW^{\#}(\delta, V_{gtWi})$$

【0174】数70、数71における R^{**} は $R - W_a$ 特性において、マスクチャネル幅 W_a の値を0にしたときのソース・ドレイン間抵抗 R の値である。マスクチャネル幅 W_a をX軸に、ソース・ドレイン間抵抗 R をY軸にとって、 $R - W_a$ 特性曲線(直線)を外挿して $X=0$ または $Y=0$ として得られるY切片の値 R^{**} またはX切片の値 dW^{**} を用いることにより計算が容易になる。数62、数69～数71のいずれの数式を用いても確率的には変わらないが、数70、数71を用いる場合には R^{**} を計算する必要がある。従って、数62または数69を用いる方がよい。

【0175】また、上記実施の形態3ではチャネルナローイング DW の値として真のシフト量 δ_0 を用いたときの W_a 切片の値 dW^{**} が適用されたが、ゲートオーバードライブ V_{gt} が0近傍のチャネルナローイング DW の値は、交点の W_a 座標 $DW^{\#}$ が極小値を持つ付近における、 $DW^{\#}$ の平均値で与えてもよい(図22)。 $DW^{\#}$ はゲートオーバードライブ V_{gt} が0近傍の値のときに停留点を持つので、 W_a 切片の値 dW^* を用いた場合よりもチャネルナローイング DW の値を精度よく決定できる。

【0176】なお、実施の形態3の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を実行する特性評価装置は、図8に示した実施の形態1の特性評価装置の計算部6の一部変更することによって図23に示すように構成することができる。変更を要する部分は、仮想点の座標としての交点座標($DW^{\#}$, $R^{\#}$)、 W_a 切片の値 dW^{**} を R 切片の値 R^{**} およびその交点座標における直線の傾き h 等を抽出する抽出部12Bと、抽出部12Bで抽出した値から真のシフト量 δ_0 を決定する真のシフト量決定部13Bと、抽出部12Bが抽出した値の中から真のシフト量 δ_0 を与える値を用いてチャネルナローイングを決定するチャネルナローイング決定部14Bである。実施の形態3における図8に示す計算部6のその他の構成部分は、★50

★実施の形態1と同様に構成することができる。抽出部12Bでは、さらに入力部5から与えられるマスクチャネル幅 W_a の値と、制御部4から与えられるソース・ドレイン間電流 I_{ds} とゲート・ソース間電圧 V_{gs} の測定データを用い、各シフト量 δ に関し、領域 Ω において、交点座標($DW^{\#}$, $R^{\#}$)の変化の割合 $dDW^{\#}/dV_{gt}$ 、 $dR^{\#}/dV_{gt}$ 、特性曲線の傾き h を抽出する。抽出部12Bで抽出された交点の W_a 座標の変化の割合 $dDW^{\#}/dV_{gt}$ 、交点の R 座標の変化の割合 $dR^{\#}/dV_{gt}$ 、特性曲線の傾き h を用いて、真のシフト量決定部13Bは、領域 Ω において数61に示されている関数 F の標準偏差が最小となる仮想シフト量 δ_0 を決定する。真のシフト量 δ_0 が決定されると、抽出部12Bは、真のシフト量 δ_0 とそれに対応する交点の W_a 座標 $DW^{\#}$ 、 W_a 切片の値 dW^{**} をチャネルナローイング決定部14Bに対して出力する。チャネルナローイング決定部14Bでは、 W_a 切片の値 dW^{**} や仮想点の W_a 座標の値 $DW^{\#}$ からチャネルナローイング DW を決定し、数39に示されている計算を行って実効チャネル幅 W_{eff} を決定する。

【0177】また、図9に示すように、上記の実施の形態3で説明した図20に示す手順に従ってコンピュータに絶縁ゲート型トランジスタを評価させるための評価プログラム30を、該プログラムを記録した記録媒体からコンピュータに読み取らせることによって上記実施の形態3で説明した絶縁ゲート型トランジスタの特性評価をコンピュータで実現できる。また、実施の形態3による絶縁ゲート型トランジスタの製造方法については、図10におけるステップST52において実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法に代えて実施の形態3による評価方法を用いればよく、上記実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を製造方法に適用した場合と同様の効果を奏する。

【0178】実施の形態4. まず、実施の形態4による

絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法の概要について図24を用いて説明する。図23は、実施の形態3による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を用いて求められる $DW^{\#}$ とゲートオーバードライブ V_{gt} との関係を示すグラフである。このグラフにはマスクチャネル幅 W_{na} が異なる3つのナロートランジスタにおいて、真の閾値電圧を用いたときの交点の W_m 座標 $DW^{\#}$ の値の変化が示されている。ただし、これら W_m 座標の値 $DW^{\#}$ を抽出するための基準となるワイドトランジスタのマスクチャネル幅 W_{wi} は同じ値に設定されている。

【0179】図24を図25と比較して分かるように、シフト量 δ の値が真のシフト量 δ_0 からずれると $V_{gt} - DW^{\#}$ 特性曲線の形が変化するが、マスクチャネル幅 W_{na} の値がある程度変化しても $V_{gt} - DW^{\#}$ 特性曲線の形は変化しない。このことから、マスクチャネル幅 W_m のみが異なる他のトランジスタについても、ゲートオーバードライブ V_{gt} の値が例えば0.3～1.2Vの範囲で、このグラフの特性曲線と一致するものを見いだせばナロートランジスタについての真の閾値電圧を抽出することができることになる。なお、実施の形態4においても実施の形態3と同様に第1及び第2ゲートオーバードライブ並びに第1から第4の推定値が定義される。

【0180】次に、この発明の実施形態4による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法の一例について図26を用いて説明する。図26に示す方法では、閾値電圧 V_{thna} の推定値、すなわち第1の推定値によって様々に変化する特性曲線の中から図24に示す特性曲線を、その特性曲線が例えば0.2～0.6Vの範囲で標準偏差が小さいことを用いて抽出する。実施の形態4による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法においては W_m 座標の値 $DW^{\#}$ のゲートオーバードライブ V_{gt} に対する依存性を利用してナロートランジスタの真の閾値電圧 δ_0 を決定するため、実施の形態3によるそれと似通った手順によって真の閾値電圧 δ_0 が決定される。

【0181】実施の形態4の一例が図26に示されている。実効チャネル幅 W_{eff} を抽出する手順に関して、実施の形態3による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法と実施の形態4のそれとが異なるのは、図20のステップST1.20、ST1.7、ST1.9～ST1.11にそれぞれ対応する、図26のステップST1.30～ST1.34である。

【0182】ステップST1.4～ステップST1.8で構成されるループの中で、ステップST1.30で仮想点の W_m 座標の値 $DW^{\#}$ が求められる。ステップST1.30で求められる $DW^{\#}$ の値は、各シフト量 δ について例えば20個程の異なるゲートオーバードライブ V_{gtn} について求められる。またこのループの中で、ステップST1.31では、各シフト量 δ について20個の値 $DW^{\#}(\delta, V_{gt1}) \sim DW^{\#}(\delta, V_{gtn})$ の平均値と標準偏差 $\sigma [DW^{\#}]$ が計算される。

【0183】各シフト量 δ についての繰り返し計算（ステップST1.14～ST1.8）が終了した後、ステップST1.32

でチャネルナローイング DW を与えるシフト量 δ_0 が推定される。このシフト量 δ_0 は、標準偏差 σ が最小となるときのシフト量 δ である。ステップST1.33では、例えばチャネルナローイング DW は、シフト量が δ_0 における仮想点の W_m 座標の値 $DW^{\#}$ の平均値で与えられる。そして、ステップST1.34で、実効チャネル幅 W_{eff} がマスクチャネル幅とチャネルナローイング DW との差で決定される。

【0184】次に、実施の形態4による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置について図27を用いて説明する。図27に示す絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置1Cは、図23に示す実施の形態3の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置1Bと同様に、被測定物2の測定を行うための測定装置3に接続されている。この特性評価装置1Cの構成において、図23の特性評価装置1Bと同一符号で示された部分は図23の同一符号部分に相当する部分である。つまり、特性評価装置1Cは、計算部6Cの抽出部12Cと真のシフト量決定部13Cとチャネルナローイング決定部14C以外の構成については、特性評価装置1Bと同じに構成できる。

【0185】特性評価装置1Cの抽出部12Cは、ゲートオーバードライブ V_{gt} を領域 Ω で変化させて、交点座標 $(DW^{\#}, R^{\#})$ を求める。真のシフト量決定部13Cは、この領域 Ω における交点座標 $(DW^{\#}, R^{\#})$ の値から、標準偏差 $\sigma [DW^{\#}]$ を求め、真のシフト量 δ_0 を決定する。抽出部12Cは、真のシフト量 δ_0 とそれに対応する交点の W_m 座標の値 $DW^{\#}$ や W_m 切片の値 dW^{**} をチャネルナローイング決定部14Cに対して出力する。チャネルナローイング決定部14Cは、真のシフト量 δ_0 について領域 Ω 、例えば $0.2 \leq V_{gt} \leq 0.6$ に渡る仮想点の W_m 座標の値 $DW^{\#}$ の平均値からチャネルナローイング DW を決定する。または、チャネルナローイング決定部14Cは、真のシフト量 δ_0 に係わる W_m 切片の値 dW^{**} をチャネルナローイング DW として決定する。

【0186】なお、図9に示すように、上記の実施の形態4で説明した図20に示す手順に従ってコンピュータに絶縁ゲート型トランジスタを評価させるための評価プログラム30を、該プログラムを記録した記録媒体からコンピュータに読み取らせることによって上記実施の形態4で説明した絶縁ゲート型トランジスタの特性評価をコンピュータで実現できる。また、実施の形態4による絶縁ゲート型トランジスタの製造方法については、図10におけるステップST52において実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法に代えて実施の形態4による評価方法を用いればよく、上記実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を製造方法に適用した場合と同様の効果を奏する。

【0187】なお、上記実施の形態4において、チャネルナローイング DW を交点の W_m 座標の値 $DW^{\#}$ の標準偏差 $\sigma [DW^{\#}]$ や W_m 切片の値 dW^{**} の標準偏差 $\sigma [dW^{**}]$ が極小になる値に決定するが、このような決定の仕方に限

71

られるものではなく、ゲートオーバードライブ V_{gt} が所定の範囲にあるとき、交点の W_a 座標の値 $DW^{\#}$ が最もよく一定値に収束している特性曲線を選ぶことによってナロートランジスタの閾値電圧 V_{thNa} を決定すればよい。例えば、ナロートランジスタのマスクチャネル幅 W_{aNa} がワイドトランジスタのマスクチャネル幅 W_{aWi} よりも十分に小さい($W_{aNa} < W_{aWi}$)とき、数63は数72のように近似される。従って、この数72の値の標準偏差が極小となるように決めてもよい。

【0188】

【数72】

$$DW^{\#} = W_{aNa} - rri \cdot W_{aWi}$$

【0189】あるいは、数72において、チャネルナローイング DW を、マスクチャネル幅 W_{aWi} 、 W_{aNa} は定数だから変数 rri の標準偏差が極小となる条件から決めてもよい。また、変数 rri の標準偏差が極小ということは、その逆数 rri^{-1} の標準偏差が極小ということとほぼ等価であるため、逆数 rri^{-1} の標準偏差から決めてもよい。

【0190】なお、実施の形態3および実施の形態4に*

$$DW^{\#} = (W_{aNa} - \frac{R_{Wi}'}{R_{Na}} \cdot W_{aWi}) \cdot (1 - \frac{R_{Wi}'}{R_{Na}})^{-1}$$

【0192】いま、ゲート仕上がり幅・ソース・ドレイン間のコンダクタンス平面(W_g - R 平面)における、交点の W_g 座標を $DW_g^{\#}$ と表すとすると数74が得られ ※

$$DW_g^{\#} = (W_{gNa} - \frac{R_{Wi}'}{R_{Na}} \cdot W_{gWi}) \cdot (1 - \frac{R_{Wi}'}{R_{Na}})^{-1}$$

【0194】ゲート仕上がり幅 W_g とマスクチャネル幅 W_a との差を ΔW とすると、それぞれワイドトランジスタおよびナロートランジスタのゲート仕上がり幅 W_{gWi} 、 W_{gNa} とマスクチャネル幅 W_{aWi} 、 W_{aNa} との間には、これらの差を示す ΔW_{Wi} 、 ΔW_{Na} を用いて数75、数76の関係が成り立つ。そこで、数73から数76を用いると、交点の W_a 座標の値 $DW^{\#}$ と交点の W_g 座標の値 $DW_g^{\#}$ との差は数77のようになる。ただし、 ΔW は数78に示すとおり定義されている。

【0195】

$$\begin{aligned} DW^{\#} - DW_g^{\#} &= -\Delta W_{Na} + \frac{R_{Wi}'}{R_{Na}} \cdot (1 - \frac{R_{Wi}'}{R_{Na}})^{-1} \cdot \Delta W \\ &= -\Delta W_{Na} + \frac{R_{Wi}'}{R_{Na}} \cdot \Delta W \\ &= -\Delta W_{Na} + \frac{W_{effNa}}{W_{effWi}} \cdot \Delta W \end{aligned}$$

【0198】

72

* によるチャネルナローイング DW の抽出において、ナロートランジスタのマスクチャネル幅 W_{aNa} がワイドトランジスタのマスクチャネル幅 W_{aWi} よりも十分に小さい($W_{aNa} < W_{aWi}$)とき、マスクチャネル幅 W_{aWi} とゲート仕上がり幅 W_{gWi} との差は仮想点の W_a 座標の値 $DW^{\#}$ の決定にほとんど影響せず、ナロートランジスタのチャネルナローイング DW を決定できる。例えば、パターン幅が1.0 μm 以下のレベルのデバイス/回路パフォーマンスを評価するためには、各トランジスタのチャネルナローイング DW を抽出することが要求される。各トランジスタに対してチャネルナローイング DW を抽出するにはナロートランジスタとリファレンスとなるワイドトランジスタの2つのトランジスタを用いる。このようなチャネルナローイング DW の抽出においてゲート仕上がり幅 W_g とマスクチャネル幅 W_a との差がトランジスタにより異なるために生じる誤差について説明する。マスクチャネル幅 W_a を用いたときの仮想点の W_a 座標の値 $DW^{\#}$ は数73で与えられる。

【0191】

20 【数73】

※る。

【0193】

【数74】

★【数75】

$$W_{gWi} = W_{aWi} + \Delta W_{Wi}$$

【0196】

【数76】

$$W_{gNa} = W_{aNa} + \Delta W_{Na}$$

【0197】

【数77】

★40

☆50☆【数78】

73

$$\Delta W = \Delta W_{wi} - \Delta W_{Na}$$

【0199】数75、数76は、 $W_{Na} < W_{wi}$ の関係が成り立つ場合、ナロートランジスタの実効チャネル幅 W_{eff} が抽出されることを表している。数77の最後の式の第2項が誤差を表す。いま、相対誤差を r で表すと数58と同じ式を得る。従って、相対誤差を所望の値よりも小さくするためには、実施の形態3および実施の形態4においてもワイドトランジスタのマスクチャネル幅 W_{wi} に実施の形態1および実施の形態2と同じ制限があることが分かる。

【0200】次に、ポリゲート仕上りのばらつきによりチャネル長が等しくないことによる影響の考察を行う。ソース・ドレイン間抵抗 R_{tot} を数79で表す。ここで、 g はチャネルのシート抵抗を表す。

【0201】

【数79】

$$R = \frac{L_{eff}}{W_{eff}} \cdot g + R_{sd}$$

【0202】ナロートランジスタとワイドトランジスタのチャネル長 L の差を $\Delta L (= L_{effNa} - L_{effwi})$ と置くと、数79は数80のように変形できる。

【0203】

【数80】

$$R = \frac{L_{effwi}}{W_{effNa} \cdot (1 - \frac{\Delta L}{L_{effwi}})} \cdot g + R_{sd}$$

【0204】数80は、シート抵抗 g が実効チャネル長 L_{eff} に依存しないと仮定すると、実効チャネル長 L_{effNa} が $(1 - \Delta L / L_{effwi})$ 倍になったように見えることを表している。いま、相対誤差を r で表すと、誤差 Δr について数81を得る。

【0205】

【数81】

$$W_{effNa} \cdot \frac{|\Delta L|}{L_{effwi}} < r \cdot W_{effwi}$$

*

$$DW = \delta W - DWG1 \cdot V_{gt} - DWG2 \cdot V_{gt}^2 + O(V_{gt}^3)$$

【0212】

【数84】

$$h = \frac{A}{V_{gt}} + B + O(V_{gt})$$

【0213】

【数85】

$$dW^{**} = \delta W - DWG1 \cdot V_{gt} - DWG2 \cdot V_{gt}^2 + O(V_{gt}^3)$$

【0216】

★50★【数87】

74

*【0206】実効チャネル長 L_{effwi} がほぼマスクチャネル長 L_{wi} に等しいとすると、数81は数82のように変形できる。

【0207】

【数82】

$$L_{wi} > \frac{|\Delta L|}{r}$$

【0208】数82は、抽出に用いるワイドトランジスタのマスクチャネル長 L_{wi} に制限を与える。例えば、ナロートランジスタとワイドトランジスタの実効チャネル長の差 ΔL を $0.1 \mu m$ 、相対誤差 r を 0.02 とした場合、正確にナロートランジスタの実効チャネル幅を抽出するためには、ワイドトランジスタのマスクチャネル長 L_{wi} を $5 \mu m$ よりも大きくする必要がある。

【0209】次に、実施の形態1による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法（以下Gm法という。）および実施の形態3による絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法（以下、Rm法という。）を、マスクチャネル幅 W_a が $0.36 \mu m$ 、マスクチャネル長 L_a が $20.4 \mu m$ のMOSトランジスタに適用した場合について説明する。図28に、Gm法およびRm法で得られたチャネルナローイング DW (Gm)、 DW (Rm)とChia法で得られたチャネルナローイング DW (Chia)の比較を示す。Gm法とRm法は、ほぼ同一の結果を示す。一般に、閾値電圧 V_{th} を正確に決めることは困難なので、Gm法およびRm法の方がChia法よりも正確なチャネルナローイング DW を与える。

【0210】次に、 W_a 切片の値 dW^{**} および交点の W_a 座標 DW^* 、 DW^* のゲートオーバードライブ V_{gt} が0近傍でのゲートオーバードライブ依存性を調べる。いま、チャネルナローイング DW 、直線の傾き h 、直線の傾き f の逆数 $g (= 1/f)$ をゲートオーバードライブ V_{gt} のべきに展開すると、数83から数85を得る。ただし、 DW 、 $G1$ 、 $DWG2$ 、 $A \sim D$ は任意の定数である。

【0211】

【数83】

*

※

$$g = \frac{C}{V_{gt}} + D + O(V_{gt})$$

【0214】このとき、 dW^{**} 、 DW^* 、 DW^* は、次のように展開される。

【0215】

※

【数86】

$$dW^{**} = \delta W - DWG1 \cdot V_{gt} - DWG2 \cdot V_{gt}^2 + O(V_{gt}^3)$$

75

76

$$DW^* \approx \delta W - 2 \cdot DWG1 \cdot V_{gt} - (3 \cdot DWG2 + \frac{D}{C} \cdot DWG1) \cdot V_{gt}^2 + O(V_{gt}^3)$$

【0217】

* * 【数88】

$$dW^* \approx \delta W + (DWG2 + \frac{B}{A} \cdot DWG1) \cdot V_{gt}^2 + O(V_{gt}^3)$$

【0218】数86から数88から次のことが分かる。
 dW^* 、 DW^* 、 DW^* は、ゲートオーバードライブ V_{gt} を0に近づけると、共に δW に収束する。 $DWG1$ と $DWG2$ が正のとき、 DW^* は、ゲートオーバードライブ V_{gt} が増加するにつれて dW^* よりも急激に減少する。また、 DW^* は、 $V_{gt}=0$ で停留点を持ち、ゲートオーバードライブ V_{gt} が増加するにつれて V_{gt} の2乗で増加する。これらは、図6および図22に現れている結果が正しいことを示している。また、 DW^* が $V_{gt}=0$ で停留点を持つことから、 DW^* が V_{gt} が0の近傍で一定になるように δW を決定できる可能性を示している。これは、シフト・アンド・レシオ法（この方法は、例えば、Y.Taur et al., "A New "Shift and Retio" Method for MOSFET Channel-Length Extraction," IEEE Elect.Dev.Lett., ED L-13(5), p.267, 1992に記載されている。）のチャネルナローイング DW 抽出への応用にあたる。実際この方法は適当な値を与える。しかし、抽出結果は、計算のためのゲートオーバードライブ V_{gt} の領域に大きく依存する（図29）。それに対し、 R_m 法と G_m 法は、計算のためのゲートオーバードライブ V_{gt} の領域に依存せず、ほぼ同一な結果を与える。

【0219】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1、請求項7、請求項8、請求項12あるいは請求項17記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法、請求項21、請求項27、請求項28、請求項32あるいは請求項37記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置、または請求項40あるいは請求項41記載の特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体によれば、第2ゲートオーバードライブの範囲に係わらず、第2絶縁ゲート型トランジスタの閾値電圧が正確に抽出でき、実効チャネル幅の抽出確度を向上させることができるという効果がある。

【0220】請求項11記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法、請求項31記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置または請求項42記載の特性評価プログラムを記憶してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体によれば、第1および第2ゲートオーバードライブの値が0V付近で第2の推定値が停留点を持つので、第1および第2ゲートオーバードライブの値が0付近でのチャネルナローイングの値を決定しやすくなるという効果がある。

【0221】請求項2記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法または請求項22記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置によれば、特性曲線を直線で※50

※近似するので、仮想点を直線の交点として、また交点での傾きを直線の傾きとして求められるので、仮想点と仮想点での傾きの抽出が容易であるという効果がある。

【0222】請求項3から請求項6および請求項13から請求項16の中のいずれかに記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法または請求項23から請求項26および請求項33から請求項36の中のいずれかに記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置によれば、仮想点の座標のゲートオーバードライブに関する微分を求めなくてよいので誤差を小さくできるという効果がある。

【0223】請求項8あるいは請求項17、7記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法または請求項28あるいは、請求項37、27記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置によれば、グラフ上で真の閾値電圧のときに得られる第2の特性曲線がマスクチャネル幅に係わらずほぼ一致するので、真の閾値電圧の決定が容易になるという効果がある。

【0224】請求項9あるいは請求項18記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法または請求項29あるいは請求項38記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置によれば、最もよく一定値に収束している最適な特性曲線を検出するので、適当な結果を得るためのプログラミングが容易になるという効果がある。

【0225】請求項10あるいは請求項19記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法または請求項30あるいは請求項39記載の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置によれば、ゲートオーバードライブが0Vにおけるチャネルナローイングを決定するのに、第3の推定値を2倍した値から第2の推定値を引いて得られる値あるいは第2の推定値はゲートオーバードライブが0Vの近傍で停留点を持つので、チャネルナローイングの決定が容易になるという効果がある。

【0226】請求項20記載の絶縁ゲート型トランジスタの製造方法によれば、絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法によって非破壊的に、かつ高い確度で閾値電圧と実効チャネル幅を抽出できるので、製造期間の短縮が図れるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 Chia法による実効チャネル長の抽出を説明するためのグラフである。

【図2】 閾値電圧の抽出について説明するためのグラフである。

【図3】 G_m 法における仮想点、 G_m 切片および W_m 切片を説明するためのグラフである。

77

【図4】 実施の形態1の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法の手順の一例を示すフローチャートである。

【図5】 実施の形態1における真のシフト量の決定について説明するためのグラフである。

【図6】 チャネルナローイングと仮想点の W_a 座標との関係を説明するためのグラフである。

【図7】 高次の近似について説明するための図である。

【図8】 実施の形態1の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置の一構成例を示すブロック図である。

【図9】 図8の計算部をコンピュータで実現する概念を示す概念図である。

【図10】 実施の形態1の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法を用いる絶縁ゲート型トランジスタの製造工程を示すフローチャートである。

【図11】 絶縁ゲート型トランジスタの製造におけるマスクチャネル長と実効チャネル長との関係を示すグラフである。

【図12】 絶縁ゲート型トランジスタの製造における実効チャネル長と閾値電圧との関係を示すグラフである。

【図13】 実施の形態2の概要を説明するためのグラフである。

【図14】 仮想点の W_a 座標の値と閾値電圧の誤差との関係を説明するためのグラフである。

【図15】 W_a 切片的の値と閾値電圧の誤差との関係を説明するためのグラフである。

【図16】 W_a 切片的の値を2倍した値から仮想点の W_a 座標の値を引いて得られる値と閾値電圧の誤差との関係を説明するためのグラフである。

【図17】 実施の形態2の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法の手順の一例を示すフローチャートである。

【図18】 実施の形態2の絶縁ゲート型トランジスタ

78

の特性評価装置の一構成例を示すブロック図である。

【図19】 Rm法における仮想点、R切片および W_a 切片を説明するためのグラフである。

【図20】 実施の形態3の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法の手順の一例を示すフローチャートである。

【図21】 実施の形態3における真のシフト量の決定について説明するためのグラフである。

【図22】 チャネルナローイングと仮想点の W_a 座標との関係を説明するためのグラフである。

【図23】 実施の形態3の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置の一構成例を示すブロック図である。

【図24】 実施の形態4の概要を説明するためのグラフである。

【図25】 仮想点の W_a 座標の値と閾値電圧の誤差との関係を説明するためのグラフである。

【図26】 実施の形態4の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法の手順の一例を示すフローチャートである。

【図27】 実施の形態4の絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置の一構成例を示すブロック図である。

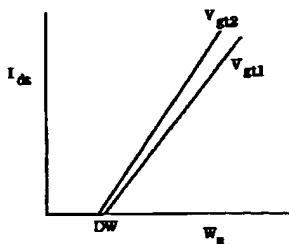
【図28】 従来の特性評価方法によって得られるチャネルナローイングと実施の形態1および実施の形態3の特性評価方法によって得られるそれとの違いを説明するためのグラフである。

【図29】 実施の形態1および実施の形態3の特性評価方法において計算のために設定するゲートオーバードライブの領域とチャネルナローイングとの関係を示すグラフである。

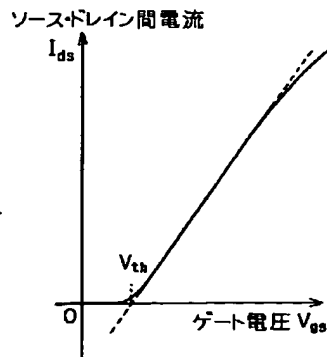
【符号の説明】

1, 1A~1C 特性評価装置、4 制御部、5 入力部、6, 6A~6C 計算部、7 出力部、11 閾値電圧・仮想シフト量決定部、12, 12A~12C 抽出部、13, 13A~13C 真のシフト量決定部、14, 14A~14C チャネルナローイング決定部。

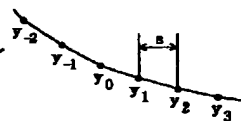
【図1】



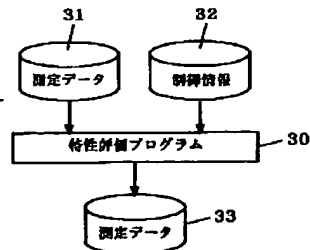
【図2】



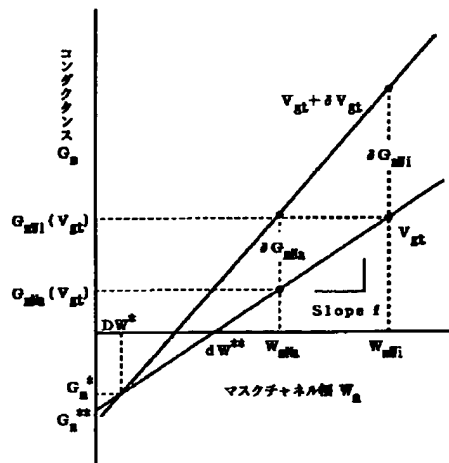
【図7】



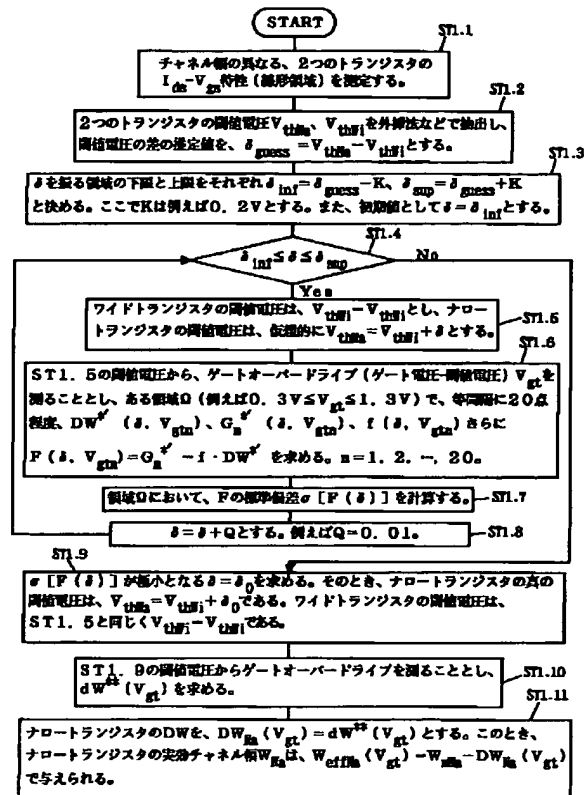
【図9】



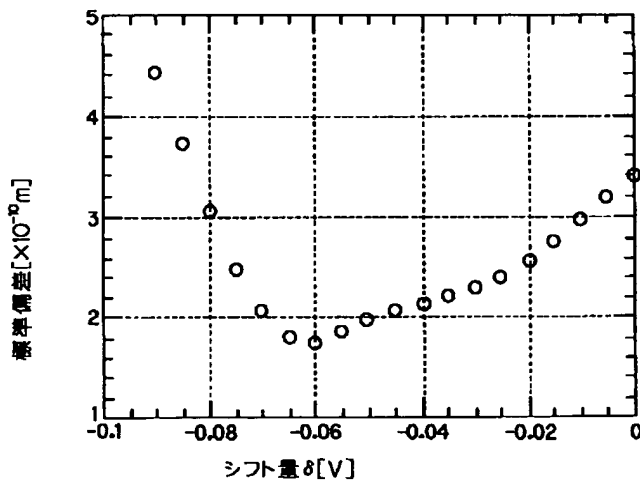
【図3】



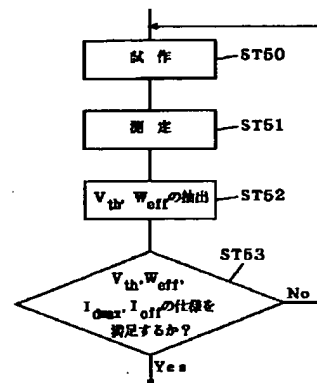
【図4】



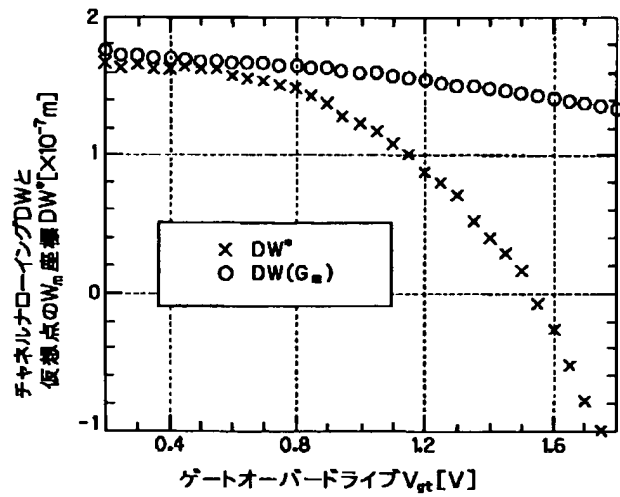
【図5】



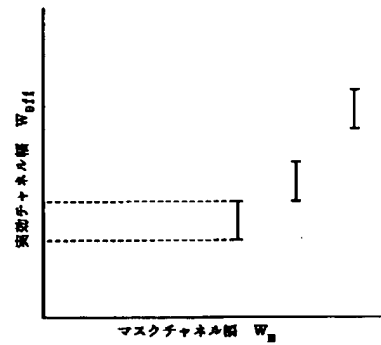
【図10】



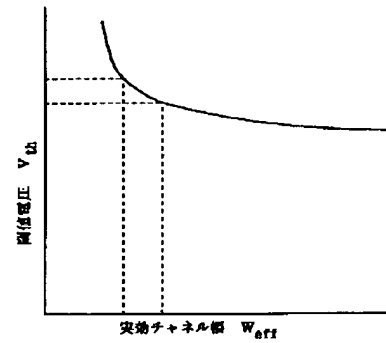
【図6】



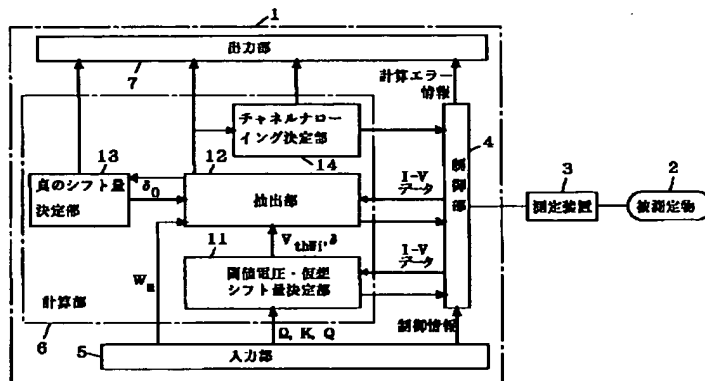
【図11】



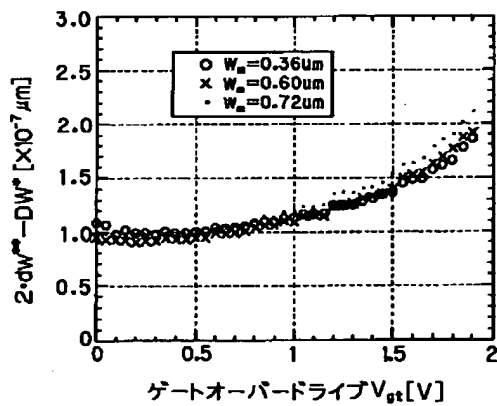
【図12】



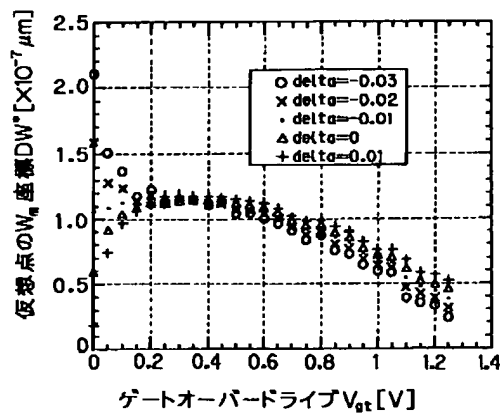
【図8】



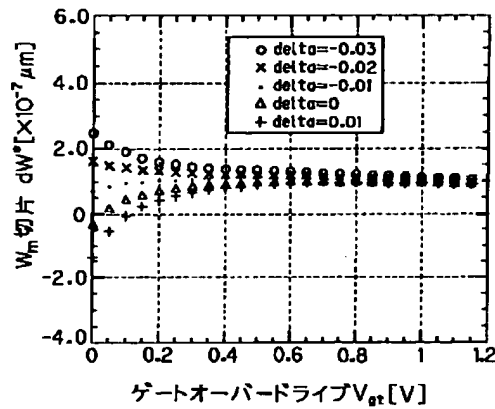
【図13】



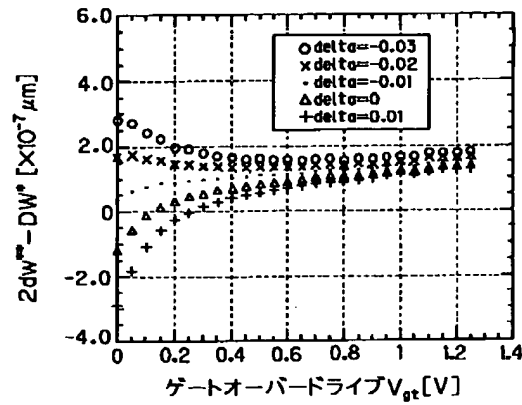
【図14】



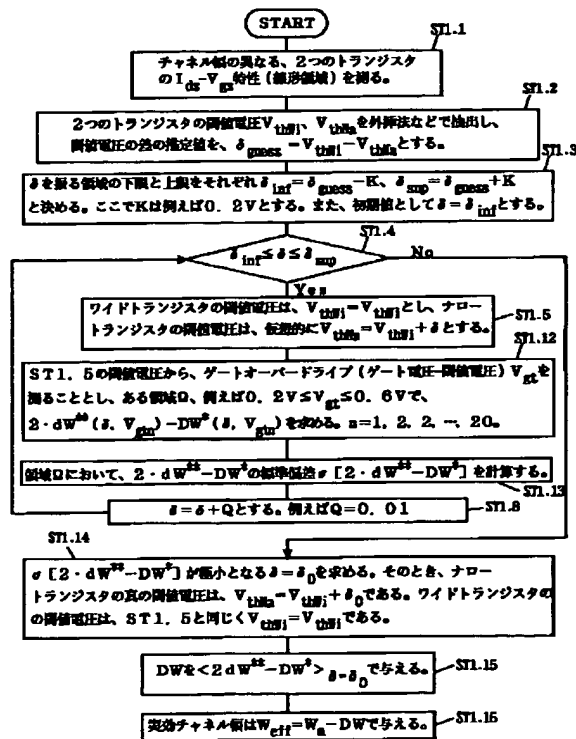
【図15】



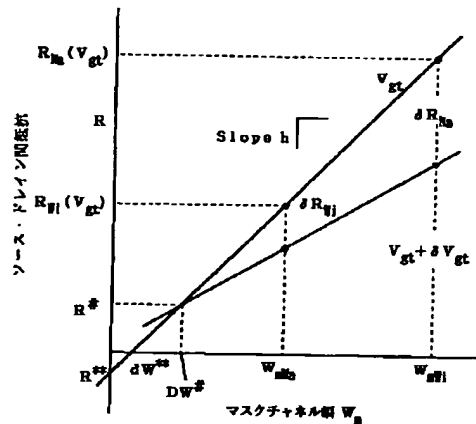
【図16】



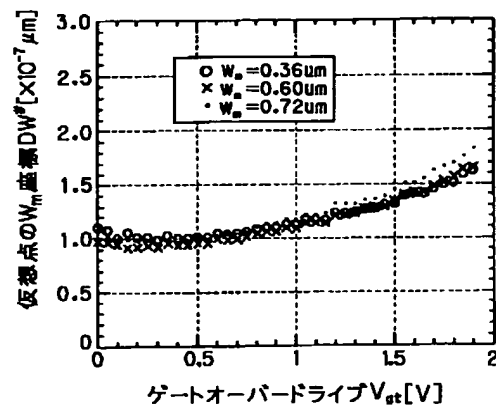
【図17】



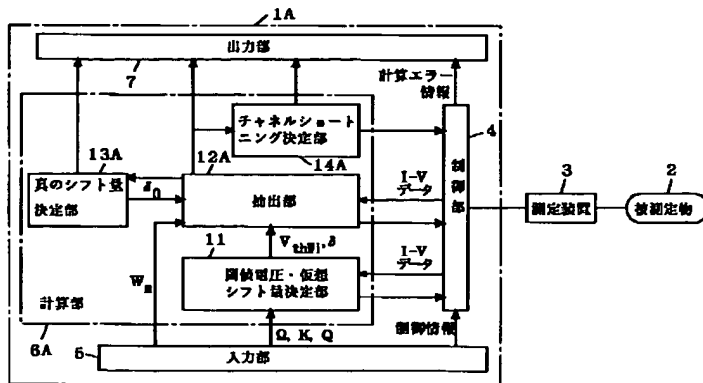
【図19】



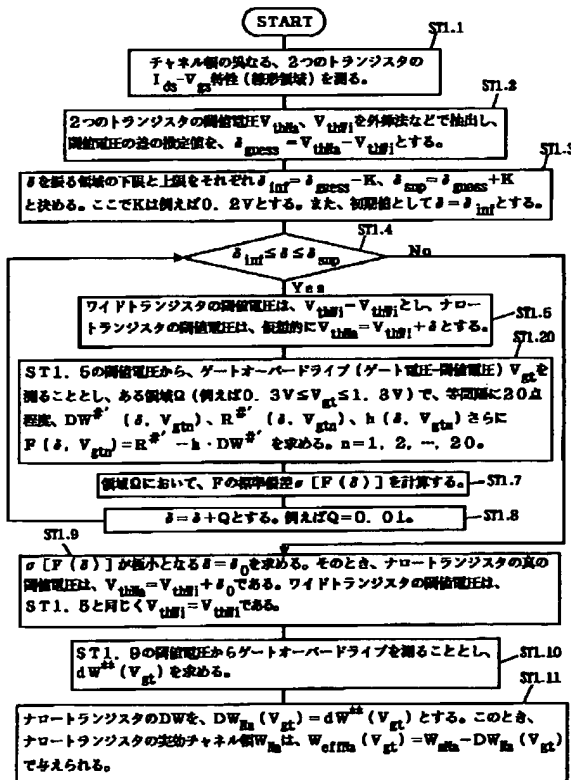
【図24】



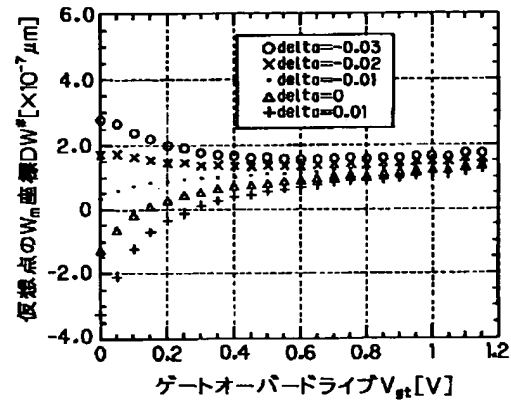
【图18】



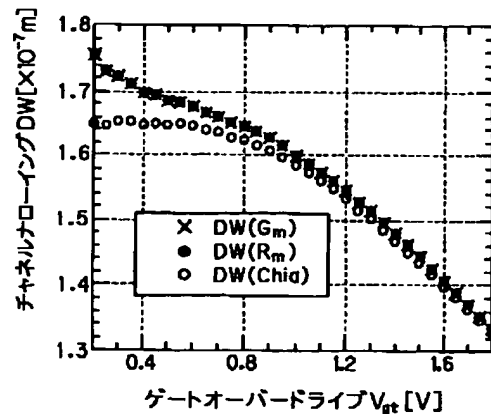
【図20】



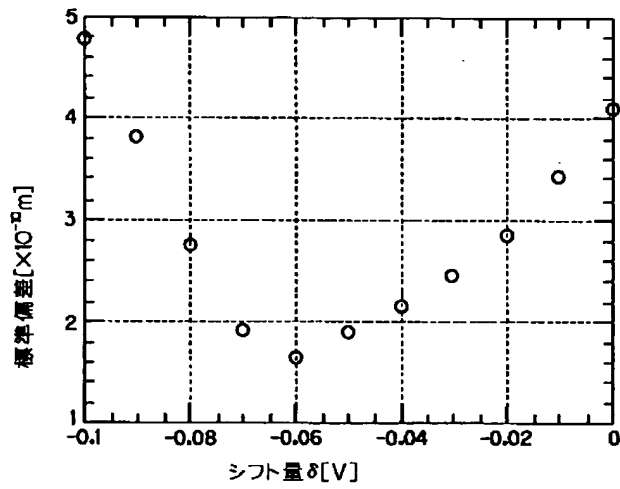
【图25】



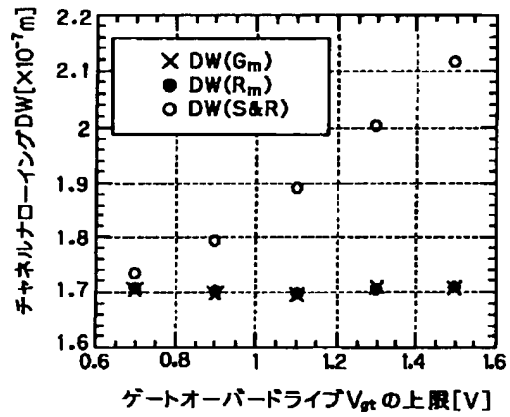
【図28】



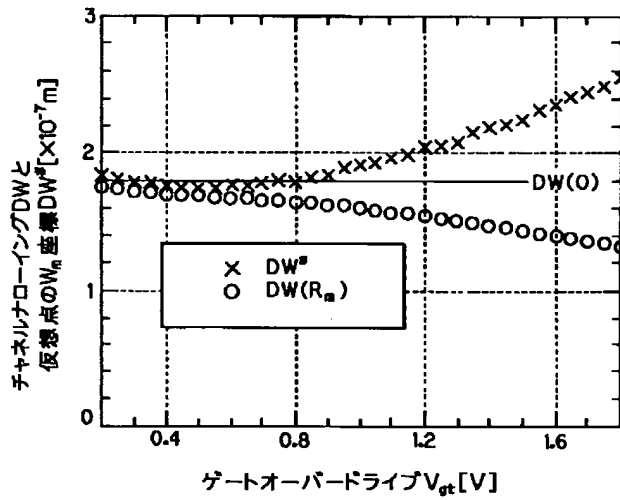
【図21】



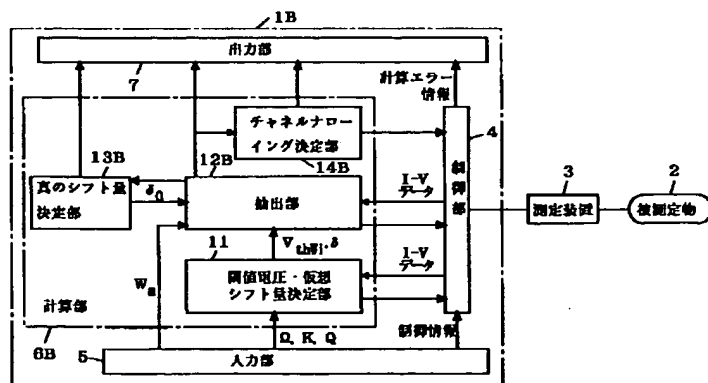
【図29】



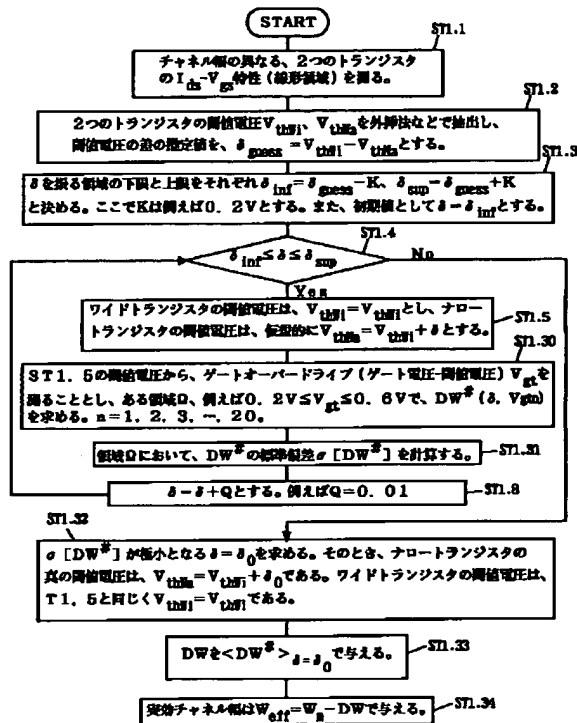
【図22】



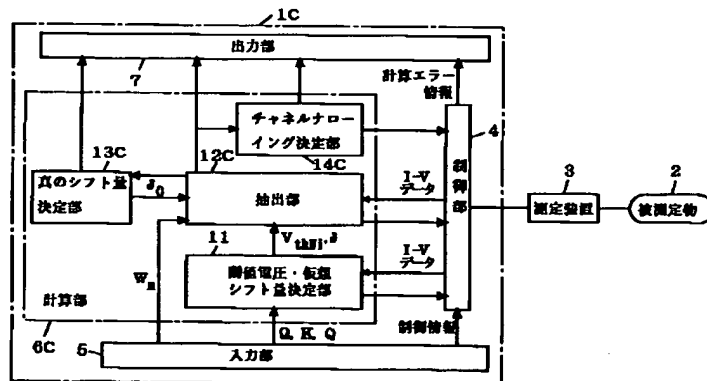
【図23】



【図26】



【図27】



フロントページの続き

(54)【発明の名称】 絶縁ゲート型トランジスタの特性評価方法、絶縁ゲート型トランジスタの製造方法、絶縁ゲート型トランジスタの特性評価装置、および特性評価プログラムを記録してあるコンピュータ読み取り可能な記録媒体